www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

16e JAARGANG No. 2, blz. 33-60 FEBRUARI 1954

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

GRONDSLAGEN VAN DE KOUDGASKOELMACHINE

door J. W. L. KÖHLER en C. O. JONKERS.

621.573

Als de brander van een heetgasmotor buiten werking gesteld wordt en de machine door een electromotor draaiende gehouden wordt, gaat zij als koelmachine werken (koudgaskoelmachine). Dit is geheel analoog aan het, misschien weinig bekende, feit dat een stoommachine als (compressie-)koelmachine gaat werken indien men ophoudt de stoomketel te stoken en de machine door een motor draaiende houdt: het water in de ketel koelt dan snel af en belandt ten slotte op een temperatuur beneden die van de omgeving (de druk in de condensor wordt hoger dan in de ketel). Toch zijn, zoals men in de practijk ziet, de techniek van de stoommachine en die van de compressorkoelmachine volkomen verschillende wegen gegaan. Bij het eerstgenoemde paar blijkt dit in mindere mate nodig te zijn: een koudgaskoelmachine kan worden geconstrueerd op principes zeer verwant aan die van de heetgasmotor. De theoretische beschouwingen in dit artikel illustreren dit, terwijl het nog duidelijker zal worden door een beschrijving van een thans door Philips gemaakte koudgaskoelmachine.

Terwijl de mensheid reeds in een zeer primitief stadium in staat is geweest voorwerpen te verwarmen (de kennis van het vuur reikt tot in het oudste stenen tijdperk), hebben duizenden jaren moeten verlopen eer het afkoelen beneden de omgevingstemperatuur in zijn eenvoudigste vorm toegepast werd. Wij weten dat de Egyptenaren hun dranken koelgehouden hebben door ze te bewaren in poreuze potten. IJs was echter zelfs in de Romeinse tijd nog alleen te verkrijgen door het te halen waar het in de natuur voorkwam, op vaak veraf gelegen bergen. In de 19e eeuw werden voor het eerst machines beschreven waarmee koude geproduceerd kon worden.

Het verschil in snelheid van ontwikkeling tussen het toepassen van kunstmatige warmte en kunstmatige koude kan enerzijds verklaard worden door het feit dat voor het leven van de mens kunstmatige warmte zeer veel essentiëler is dan kunstmatige koude. Anderzijds berust het zeker ook op het grote verschil in eenvoud van de technieken welke dienen om warmte resp. koude te produceren. Terwijl de methodes om warmte te produceren zo talrijk en eenvoudig zijn dat daarop niet behoeft te worden ingegaan, zijn voor het opwekken van koude zelfs heden slechts een klein aantal, meestal ingewikkelde, manieren bekend; nog kleiner is het aantal werkwijzen dat in de techniek werkelijk toegepast wordt. Ter orientatie hierover het volgende.

De meest in zwang zijnde, en waarschijnlijk de oudste, methode om een temperatuurverlaging te verkrijgen is de verdampingskoeling: men laat een vloeistof verdampen, en door verwijderen van de damp zorgt men dat zich geen evenwicht kan instellen maar het verdampen continu doorgaat. Voor de verdamping wordt warmte verbruikt, zodat de vloeistof zal afkoelen. Het eenvoudigste voorbeeld hiervan is de afkoeling die men voelt als men een natte vinger in de wind houdt. Een ander voorbeeld is het reeds genoemde gebruik van poreuze vaten, waarbij de langzame verdamping van de vloeistof door de wand heen de afkoeling van de inhoud veroorzaakt. Continu werkende machines volgens dit principe krijgt men door de damp (het koelmedium) op een andere plaats weer in de vloeistofphase terug te brengen. Meestal doet men dit door de damp af te zuigen en te comprimeren; dit zijn de compressiekoelmachines. Een ander type machine dat op dezelfde grondgedachte berust is de absorptiekoelmachine.

De laagste temperatuur die met deze machines op economische wijze kan worden bereikt wordt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vooral beperkt door de daling van de dampdruk van het koelmedium met de temperatuur: bij een lage dampdruk is het volume van de af te zuigen damp zo groot dat de machines te volumineus worden. Hierdoor bereikt men, ook met de moderne koelmedia, geen lagere temperaturen dan ongeveer —60 °C tot —80 °C. Dit is voldoende om bijv. vast koolzuur te maken (zg. droog ijs, sublimatietemperatuur —78 °C bij 1 atm), een procédé waarvan tegenwoordig op grote schaal gebruik gemaakt wordt om koude op te slaan en te vervoeren naar plaatsen waar men haar wil gebruiken (koelcellen of derg.) — analoog aan het gebruik van gewoon ijs. Wil men met een verdampingskoelmachine nog lagere temperaturen bereiken dan —80 °C, dan kan men twee of meer kringprocessen, ieder met een andere geschikte vloeistof, achter elkaar schakelen. Deze zg. „cascademethode" werd vroeger wel gebruikt, doch is tegenwoordig vrijwel geheel verlaten, omdat zij te gecompliceerd en daardoor moeilijk hanteerbaar is.

Er bestaat een tweede, zeer veel lager gelegen, temperatuurgebied waarin men zich thans veelvuldig en relatief gemakkelijk beweegt. Het wordt bereikt met behulp van machines die volgens geheel andere principes werken. Dit is het gebied van de vloeibare lucht, waarvan bij 1 atm de kooktemperatuur —194 °C bedraagt (*fig. 1*). Lucht werd het eerst op technische schaal vloeibaar gemaakt door Carl von Linde. Deze maakte hierbij gebruik van het Joule-Kelvin-effect, d.i. de temperatuurverlaging die bij alle gassen beneden een bepaalde temperatuur optreedt als zij via een smoorkraan overgaan van een hoge naar een lage druk. Korte tijd daarna werd door Claude nog een andere methode toegepast om een temperatuurverlaging te verkrijgen, nl. de adiabatische expansie van gecomprimeerde lucht onder verrichting van mechanische arbeid. De huidige installaties voor het maken van vloeibare lucht bevatten steeds een combinatie van deze twee werkwijzen.

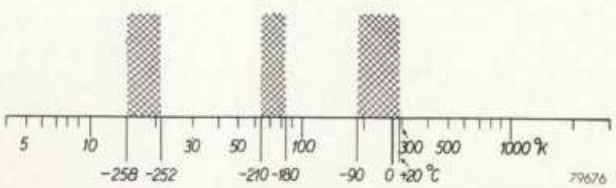


Fig. 1. Temperatuurgebieden die met behulp van conventionele koelmachines geregeld worden betreden. Met de verdampingskoelmachines komt men tot ca. —80 °C. De machines waarmee lucht vloeibaar wordt gemaakt, werken in het gebied tussen —180 °C en —210 °C. Het temperatuurgebied tussen —252 °C en —258 °C is het terrein der in vele laboratoria gebruikte waterstofliquefactoren.

Het gebied tussen de genoemde temperaturen, van ca. —80 °C tot ca. —180 °C, wordt momenteel weinig betreden: eenvoudige en goed hanteerbare installaties die in dit gebied werken komen nagenoeg niet voor.

Dit korte overzicht is natuurlijk zeer onvolledig. In het bijzonder weerspiegelt het niet de sprongsgewijze groei van het gebruik van kunstmatig opgewekte koude sinds de constructie van de eerste

Fig. 2. Koudgaskoelmachine, in het Philipslaboratorium te Eindhoven in gebruik voor het vloeibaar maken van lucht.

continu werkende koelmachines. Deze groei is nog geenszins afgesloten: een verdere uitbreiding van de toepassing van koude ligt in de lijn van de verwachtingen. In dit kader plaatse men de ontwikkeling die wij thans zullen bespreken. Wij kunnen daarbij aanknopen aan een serie artikelen over heteluchtmotoren, die enige jaren geleden in dit tijdschrift zijn verschenen [1]). In het eerste artikel van die reeks werd reeds vermeld dat het daar beschreven heetgasproces tevens kan worden benut als

[1]) H. Rinia en F. K. du Pré, Heteluchtmotoren, Philips techn. T. **8**, 129-136, 1946.
H. de Brey, H. Rinia en F. L. van Weenen, De grondslagen voor de ontwikkeling van de Philips heteluchtmotor, Philips techn. T. **9**, 97-104, 1947.
F. L. van Weenen, De constructie van de Philips heteluchtmotor, Philips techn. T. **9**, 125-134, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

koelproces, en dat daarmee zelfs zeer lage temperaturen bereikt kunnen worden. Het is tijdens het onderzoek van de laatste jaren gebleken dat de op dit zg. „koudgaskoelproces" gebaseerde machines juist in het braak liggende gebied, tussen —80 °C en —180 °C, bijzonder aantrekkelijke eigenschappen kunnen hebben. Dit gebied kan hiermee nl. in één trap van kamertemperatuur af worden bereikt, zodat de installatie buitengewoon eenvoudig kan zijn. Men kan er echter ook machines mee construeren die bij nog lagere temperaturen, bijv. van —200 °C, met een zeer goed rendement koude kunnen produceren. Dit wordt aangetoond met de in *fig. 2* afgebeelde koelmachine, die in het Philipslaboratorium te Eindhoven werd vervaardigd en waarmee men lucht van atmosferische druk kan laten condenseren. Het feit dat men de vloeibaar te maken lucht hier niet behoeft te comprimeren, maakt verrassende vereenvoudigingen mogelijk, waardoor de installatie uiterst compact geworden is en zeer weinig toezicht vereist.

Wij zullen in dit artikel het koudgaskoelproces bespreken en in een volgend artikel nader ingaan op de realisatie ervan.

Het kringproces in de koudgaskoelmachine

Bij het koudgaskoelproces wordt een hoeveelheid gas bij kamertemperatuur gecomprimeerd, waarbij de compressiewarmte bijv. door koelwater wordt afgevoerd. Vervolgens brengt men het gas op de gewenste lage temperatuur (wij beschouwen een toestand waarin deze temperatuur reeds in een ruimte gerealiseerd is). Dan laat men het gas, onder het verrichten van mechanische arbeid, expanderen. De hierbij vrijkomende expansiekoude[2]) is het oogmerk van het gehele proces, zij wordt op de een of andere wijze nuttig gebruikt. Ten slotte wordt het geëxpandeerde gas weer op kamertemperatuur gebracht en de cyclus begint opnieuw.

Men kan het proces dus, in principe althans, verdelen in vier fazen:

I. Compressie van het medium bij omgevingstemperatuur.
II. Afkoeling tot de werktemperatuur.
III. Expansie bij de werktemperatuur, met koudeproductie.
IV. Verwarming tot omgevingstemperatuur.

[2]) In het voorgaande is al in kwalitatieve zin gesproken van het opwekken van „koude". Dit begrip zullen wij, zoals in de koeltechniek gebruikelijk, ook in kwantitatieve betekenis bezigen: het produceren van een hoeveelheid koude door een medium is daarbij eenvoudig aequivalent met het onttrekken van een hoeveelheid warmte door het medium aan zijn omgeving.

Het medium blijft daarbij steeds gasvormig, in tegenstelling tot hetgeen in de verdampingskoelmachines plaats vindt. Daar men met een gesloten cyclus te maken heeft, is men niet verplicht lucht te gebruiken, doch men kan ook een ander medium kiezen. Van het medium wordt alleen geëist dat het zich met voldoende benadering als een ideaal gas gedraagt.

Men ziet dat het principe van het koudgaskoelproces enige overeenkomst vertoont met het, in de inleiding genoemde, proces van Claude. Ook daar comprimeert men een gas bij kamertemperatuur en laat het bij de werktemperatuur expanderen; het doel is daar echter, evenals in het Linde-proces, het aftappen van het afgekoelde en vloeibaar gemaakte gas, terwijl in het koudgaskoelproces het gas alleen als werkmedium dienst doet (zoals ook het geval is bij de vloeistof in de verdampingskoelmachine). Bovendien verschillen de beide processen in de practische uitvoering zo sterk dat een vergelijking weinig vruchtbaar is.

Men heeft het hier in hoofdlijnen beschreven proces in het verleden wel uitgevoerd met behulp van twee afzonderlijke machines voor de compressie en de expansie (in de literatuur staat het zo uitgevoerde proces bekend als het koudeluchtproces). Het is echter ook realiseerbaar in één machine, waarin twee ruimten met verschillende temperatuur in open verbinding met elkaar staan; door het ontbreken van kleppen is zulk een machine zeer eenvoudig. Het aldus uitgevoerde proces staat bekend als het Stirling-proces. Het koudgaskoelproces, dat op deze Stirling-cyclus gebaseerd is, zullen wij nu eerst enigszins uitvoerig bespreken aan de hand van een sterk gestyleerd schema, waarin men de vier fazen van het proces duidelijk gescheiden terugvindt. Daar dit gestyleerde proces een discontinue beweging van zuigers vereist, komt het niet in aanmerking voor realisatie. Wij zullen daarna echter laten zien dat men ook met een continue zuigerbeweging een geheel gelijkwaardig kringproces kan verkrijgen.

Gestyleerd proces

Men ziet in *fig. 3a* een cylinder met twee zuigers. De rechter zuiger werkt in een cylindergedeelte met de hoge temperatuur T_C, d.i. de kamertemperatuur (ca. 300 °K), de linker zuiger in een gedeelte met de lage temperatuur T_E. Tussen de beide cylinderdelen bevindt zich de regenerator (zware stippellijn), waarvan de werking hieronder besproken zal worden. Faze *I* van het proces heeft plaats tussen de getekende toestanden *1* en *2*: het gas wordt bij de temperatuur T_C gecomprimeerd (vandaar de index C) van het volume V_1 tot het volume V_2. Wij nemen aan dat de compressiewarmte ter plaatse

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

afgevoerd wordt, zodat de compressie isotherm geschiedt. In faze *II* wordt het gas bij gelijkblijvend volume overgebracht naar de ruimte waar de temperatuur T_E heerst, toestand *3*; tijdens deze faze daalt de druk, doordat de temperatuur van het gas lager wordt. In faze *III*, bij de temperatuur T_E, laat men het gas expanderen (vandaar de index E) van het volume V_2 tot het oorspronkelijke volume V_1, toestand *4*, waarbij de druk nog verder daalt en de expansiekoude weer ter plaatse afgevoerd wordt.

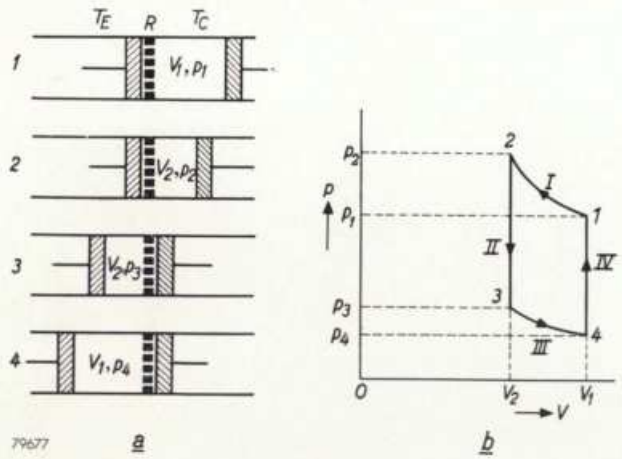


Fig. 3. Het gestyleerde koudgaskoelproces.
a) Twee zuigers bewegen in een cylinder, die een ruimte op kamertemperatuur T_C en een op de lage temperatuur T_E bevat, met daartussen een regenerator *R*. Het proces bestaat uit vier fazen, *I-IV*, waarvan hier de begintoestanden, *1-4*, zijn getekend.
b) Variatie van druk en volume van het werkmedium. De fazen *I* en *III* verlopen isotherm, de fazen *II* en *IV* isochoor.

Ten slotte wordt in faze *IV* het gas bij gelijkblijvend volume naar de warme zijde, met de temperatuur T_C, teruggebracht, waarbij de druk stijgt en weer toestand *1* wordt verkregen. Het gas stroomt dus bij dit proces steeds heen en weer tussen de beide ruimten met de temperaturen T_C en T_E. In het p,V-diagram, fig. 3*b*, wordt dit gestyleerde proces beschreven door twee isothermen (fazen *I* en *III*) en twee isochoren (lijnen van constant volume, fazen *II* en *IV*). Tijdens faze *III* vindt de nuttige koudeproductie plaats.

De regenerator

De hierboven terloops genoemde regenerator is voor het proces van essentieel belang. Indien nl. het in faze *I* gecomprimeerde gas met de temperatuur T_C rechtstreeks in de ruimte met de temperatuur T_E zou stromen, zou de koude die nodig is om het gas van T_C op T_E te brengen, voor de nuttige koudeproductie verloren gaan. Dit verlies is zo groot dat er dan in het geheel geen koude meer geproduceerd zou worden.

In de regenerator nu wordt tijdens de stroming van het gas van de ruimte met hoge naar die met lage temperatuur warmte onttrokken aan het gas, waardoor dit koud wordt. Deze hoeveelheid warmte wordt tijdelijk opgeslagen (dwz. zij komt niet in de vriesruimte vrij, vermindert niet de koudeproductie). Wanneer in faze *IV* het gas van de ruimte met de lage naar de ruimte met de hoge temperatuur terugstroomt, neemt het onderweg de in de regenerator opgeslagen warmte weer op, zodat het die ruimte met dezelfde temperatuur bereikt als waarmee het eruit gestroomd is.

Gezien de essentiële rol van de regenerator, is het van belang zich ervan te overtuigen dat in principe volledige regeneratie mogelijk is. De thermische energie, vrijkomend in faze *II*, en die welke nodig is in faze *IV*, worden beide gegeven door:

Energie = massa × temperatuurverschil × soortelijke warmte.

In beide fazen is de massa van het medium dezelfde, omdat wij een kringproces beschouwen. Het overbrugde temperatuurverschil is in beide gevallen ook gelijk. De gemiddelde druk is gedurende faze *II* groter dan gedurende faze *IV*, doch bij ideale gassen, die we hier steeds onderstellen, hangt de soortelijke warmte niet van de druk af. De nodige koude voor faze *II* is dus inderdaad gelijk aan de nodige warmte voor faze *IV*.

In werkelijkheid vertonen regeneratoren natuurlijk altijd enige afwijkingen van de ideale werking. Toch kan men er het koudeverlies in faze *II* drastisch mee beperken. Voorlopig nemen wij voor de volgende beschouwingen aan dat de machine voorzien is van een ideale regenerator, waardoor wij met deze verliespost geen rekening behoeven te houden.

Energiebalans van het gestyleerde proces

De hoeveelheid koude die per periode in de expansiecylinder wordt geproduceerd, bedraagt, zoals men op eenvoudige wijze kan afleiden (zie hieronder in de kleine letters):

$$Q_E = mRT_E \ln \frac{V_1}{V_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

De in één periode nodige mechanische energie is:

$$A = mRT_C \ln \frac{V_1}{V_2} + mRT_E \ln \frac{V_2}{V_1} =$$

$$= mR\,(T_C - T_E) \ln \frac{V_1}{V_2} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

In deze formules is R de moleculaire gasconstante en m de massa (in grammoleculen) van het werkende medium in de machine.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men ziet dat Q_E en A evenredig zijn met de logarithme van de volumeverhouding V_1/V_2 en met de in het systeem aanwezige hoeveelheid gas; A is positief, dwz. netto moet er arbeid toegevoerd worden, zoals overigens ook blijkt uit de omlooprichting van het p,V-diagram (fig. 3*b*). Verder ziet men dat Q_E evenredig is met T_E, zodat dus de koudeproductie kleiner wordt naarmate de temperatuur van de vriesruimte daalt. De nodige mechanische energie echter is evenredig met het temperatuurverschil $T_C - T_E$, zij is dus nul voor $T_C = T_E$ en stijgt sterk naarmate T_E daalt.

Onder het „rendement" verstaat men in de koeltechniek de verhouding tussen de geproduceerde koude en de vereiste mechanische energie. Met gebruikmaking van (1) en (2) vindt men hiervoor:

$$\eta = \frac{Q_E}{A} = \frac{T_E}{T_C - T_E}.$$

Dit komt overeen met het rendement van het proces van Carnot, volgens de leer der thermodynamica het grootste rendement dat kan worden verkregen met een proces dat werkt tussen de temperaturen T_C en T_E. Het kringproces moet daartoe omkeerbaar zijn, wat bij ons proces, met de gemaakte onderstellingen van isotherme compressie en expansie en van volledige regeneratie, inderdaad het geval is. Men ziet dat het rendement wel zeer sterk daalt naarmate men de koude bij lagere temperatuur wil produceren (*fig. 4*). Omgekeerd ziet men dat, zoals in principe bij alle koelmachines, bij gering temperatuurverschil $T_C - T_E$ het rendement groter is dan 1 en voor het grensgeval $T_C \to T_E$ zelfs oneindig wordt.

De gebruikelijke aanduiding van de verhouding Q_E/A als „rendement" is dan ook in feite niet gelukkig gekozen. Zij suggereert dat de vereiste mechanische energie voor een zeker percentage omgezet zou worden in het gewenste product (koude), terwijl in werkelijkheid de koude verkregen wordt door verplaatsen („oppompen") van warmte uit een reservoir met lage temperatuur naar een met hoge temperatuur.

Er moge nog in het kort worden toegelicht, hoe de formules (1) en (2) zijn verkregen. Een zuiger die een zekere hoeveelheid gas met druk p in een cylinder comprimeert, verricht de arbeid

$$A = -\int p\,dV,$$

waarbij dV de verandering van het volume is. In ons geval wordt dit, bij toepassing van de wet van Boyle-Gay Lussac:

$$A = -mRT \int \frac{dV}{V}.$$

In faze *I* van het gestyleerde proces verricht dus de zuiger in de compressiecylinder de arbeid

$$A_I = -mRT_C \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = mRT_C \ln \frac{V_1}{V_2},$$

die in deze cylinder als compressiewarmte vrijkomt. Analoog vindt men voor de expansiecylinder in faze *III*:

$$A_{III} = -mRT_E \ln \frac{V_1}{V_2} \quad \text{en} \quad Q_E = mRT_E \ln \frac{V_1}{V_2}.$$

Hieruit volgen direct de formules (1) en (2).

De aandachtige lezer zal gemerkt hebben dat ook tijdens de fazen *II* en *IV*, die zich ieder in beide cylinders afspelen, drukverlaging, resp. drukverhoging van het medium plaatsvindt, waardoor het medium ook tijdens deze fazen warmte opneemt, resp. afgeeft. Doordat echter de expansieverhouding in *II* gelijk is aan de compressieverhouding in faze *IV*, en aangezien de ontwikkelde warmte (of koude) slechts afhangt van de drukverhouding, is in elke cylinder afzonderlijk de toegevoerde warmte in faze *II* gelijk aan de afgegeven warmte in faze *IV*, zodat deze termen elkaar in de energiebalans opheffen.

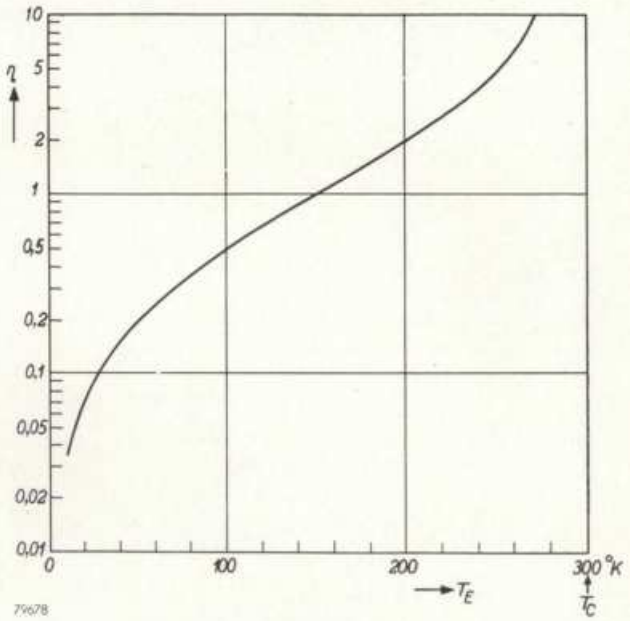


Fig. 4. Theoretisch rendement η van het koudgaskoelproces (Carnot-rendement, $\eta = \frac{T_E}{T_C - T_E}$) als functie van de vriestemperatuur T_E, voor T_C = omgevingstemperatuur = 300 °K.

Proces met continue zuigerbeweging

Zoals reeds werd opgemerkt, kan het Stirling-proces in de beschreven, gestyleerde, vorm moeilijk verwezenlijkt worden wegens de vereiste discontinue zuigerbeweging.

Fig. 5 laat evenwel zien dat men het proces benaderen kan met een harmonische beweging van de zuigers. Men moet dan slechts zorgen dat de bewegingen van de beide zuigers onderling in faze verschoven zijn, en wel zodanig dat *de volumevariatie van de expansieruimte in faze vóór is ten opzichte van de compressieruimte*. *Fig. 6* laat zien hoe men met een eenvoudig drijfwerk de zuigers de gewenste beweging kan doen uitvoeren. (In het volgende artikel zullen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wij een andere oplossing bespreken, die in enkele opzichten belangrijke voordelen biedt.) In het p,V-diagram krijgen wij bij de harmonische zuigerbeweging een vloeiende kromme (*fig.* 7). Dit houdt natuurlijk in, dat de vier fazen I-IV vervaagd zijn. De compressie vindt wel voornamelijk plaats bij de temperatuur T_C, doch niet volledig. Evenzo geschiedt de expansie niet volledig bij de temperatuur T_E. Bovendien is het isochore karakter van de overgangen tussen deze temperaturen verloren gegaan. Wij zullen de belangrijkste eigenschappen van

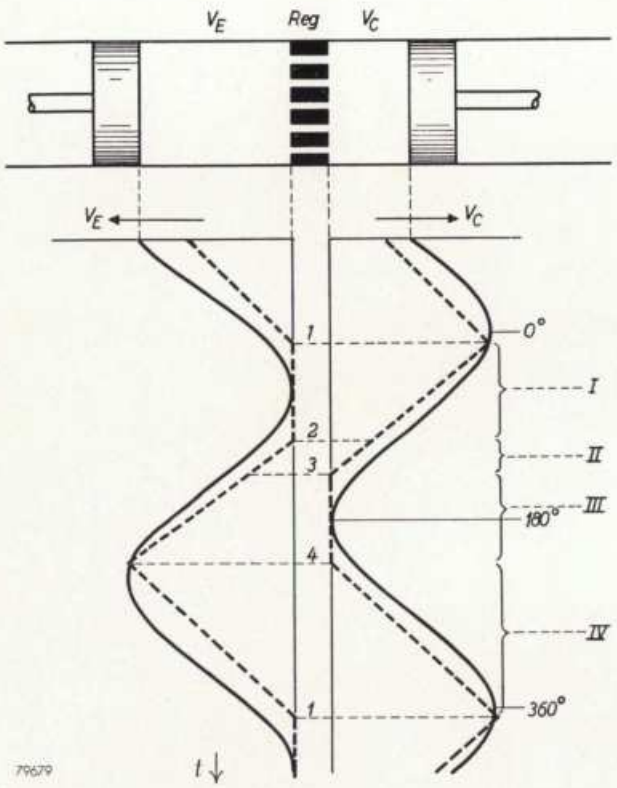


Fig. 5. Het koudgaskoelproces met harmonische zuigerbeweging. Uitgezet is de variatie met de tijd t van de volumina V_C en V_E van de ruimte op kamertemperatuur, resp. op lage temperatuur. Gestippeld is weergegeven hoe deze volumina variëren bij het gestyleerde proces.

In deze figuur is tevens aangeduid dat de regenerator *Reg* een zekere gasinhoud heeft (zie ook fig. 6). Deze en andere ruimten die niet tot de slagvolumina behoren (schadelijke ruimte) verkleinen de drukvariatie in de machine en daardoor het vermogen, doch zij hebben geen invloed op het rendement van het proces.

het zo verkregen kringproces in de rest van dit artikel afleiden en bespreken. Een diepere analyse, die hier te ver zou voeren, leert dat de kwaliteit van het proces ten gevolge van de overgang tot de harmonische zuigerbeweging niet verminderd is.

Dat het verloren gaan van het isochore karakter van de fazen *II* en *IV* geen essentiële betekenis heeft, blijkt wel ten duidelijkste daaruit dat het Stirling-proces even goed gestyleerd kan worden met behulp van een andere, discontinue, beweging der zuigers, waarbij de fazen *II* en *IV* niet isochoor doch isobaar (met constante druk) verlopen! De tot dusverre bereikte conclusies blijven dan volledig van kracht. In vele opzichten moet men het proces met harmonisch bewegende zuigers als een tussenvorm van de processen met isochore resp. isobare fazen beschouwen.

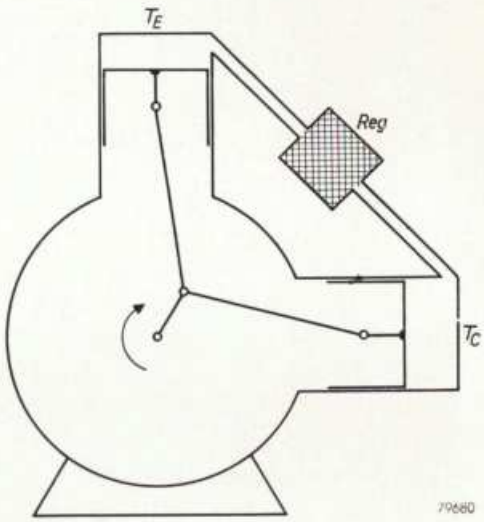


Fig. 6. Krukaandrijving waarmee de harmonische zuigerbeweging, met de vereiste fazeverschuiving, kan worden gerealiseerd. De fazehoek tussen de volumevariaties van de compressie- en de expansieruimte is hier 90°.

Na deze uiteenzetting van de grondslagen van het koudgaskoelproces zijn hier nog enkele historische opmerkingen op hun plaats. Het proces is, evenals het heteluchtproces, van zeer oude datum. John Herschel heeft in 1834 ingezien dat het mogelijk is met het Stirling-proces koude op te wekken. Alexander Kirk vroeg in 1862 octrooi aan op een machine die volgens dit proces werkte [3]); deze

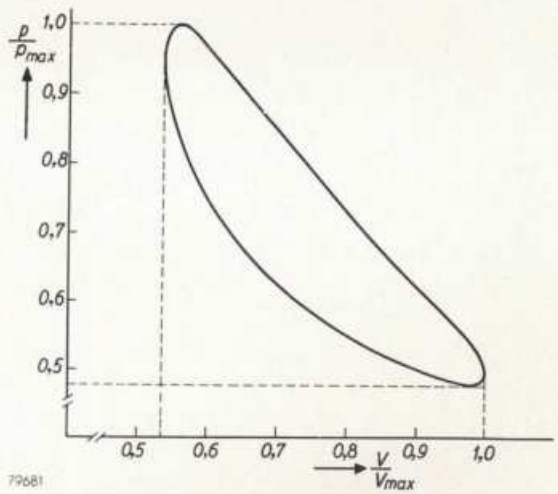


Fig. 7. p,V-diagram van het koudgaskoelproces met harmonische zuigerbeweging. De fazen I-IV vervloeien enigszins en men krijgt in plaats van het diagram van fig. 3*b* een vloeiende lijn.

[3]) A. G. Kirk, Min. Proc. Inst. Civ. Eng. **37**, 244, 1873/74.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

machine heeft meer dan 10 jaar gelopen. In de 20ste eeuw ten slotte werd in de Verenigde Staten door Lundgaard aan een Stirling-machine gewerkt. Het schijnt dat men met deze machines nooit zeer lage temperaturen heeft bereikt.

Relatie tussen koudgaskoelmachine en heetgasmotor

Indien men de bovenstaande uiteenzetting over het koudgaskoelproces vergelijkt met het eerste in dit tijdschrift gepubliceerde artikel over het heetgasproces [1]), zal blijken dat de beide processen zeer veel op elkaar lijken. Men moet ze echter uit geheel verschillende gezichtshoeken bekijken, daar ze een verschillende doelstelling hebben.

Het koudgaskoelproces wordt vaak het „omgekeerde heetgasproces" genoemd. Omdat deze uitdrukking gemakkelijk tot verwarring aanleiding kan geven, zullen wij hier de relatie tussen de koudgaskoelmachine en de heetgasmotor nog nader beschouwen.

Wij gaan hierbij uit van de werkende heetgasmotor. Het proces verloopt geheel analoog als in fig. 5. De temperatuur T_E van de expansiecylinder is nu echter zeer hoog, bijv. 600 °C. De temperatuur T_C in de andere cylinder is weer gelijk aan de kamertemperatuur. Als de motor draait, moeten wij de cylinder met temperatuur T_E verwarmen en die met temperatuur T_C koelen; tevens levert de machine mechanisch vermogen aan de as. Indien men nu de verwarming van de expansiecylinder staakt, doch ervoor zorgt dat de machine met dezelfde snelheid in dezelfde richting blijft draaien, dan zal het inwendige van de machine van de verandering niets merken, aangezien het medium steeds dezelfde cyclus blijft doorlopen. Daarom zal het medium ook nog steeds warmte aan de expansiecylinder blijven onttrekken. Wegens het gebrek aan verwarming zal dus deze cylinder snel afkoelen, en ten slotte zal de temperatuur ervan beneden de temperatuur van de omgeving komen: de heetgasmotor is vanzelf overgegaan in een koelmachine. De temperatuurdaling zal ten slotte tot staan komen zodra de resterende warmtetoevoer aan de, beneden omgevingstemperatuur afgekoelde, expansiecylinder (bijv. ten gevolge van gebrekkige isolatie) evenwicht maakt met de warmtebehoefte (koudeproductie) van het werkende medium.

De heetgasmotor en de koudgaskoelmachine verschillen dus in hoofdzaak in de temperatuur T_E van de expansiecylinder, d.i. de ruimte waar bij beide machines een warmtestroom uit de buitenwereld de machine binnentreedt: bij de motor ligt deze temperatuur boven die van de omgeving, bij de koelmachine er beneden. De draairichting van de beide machines en het teken van het fazeverschil tussen de beide zuigerbewegingen zijn echter gelijk [4]).

Berekening van het proces met harmonische zuigerbeweging

De berekening van koudeproductie, mechanisch vermogen (asvermogen) en rendement, die wij hierboven voor het gestyleerde Stirling-proces geschetst hebben, willen wij thans ook voor het proces met harmonische zuigerbeweging uitvoeren. Na de voorgaande discussie zal het duidelijk zijn dat men deze berekening zonder noemenswaardige veranderingen kan overnemen uit de vroeger behandelde theorie van de heetgasmotor, indien men slechts de gebruikte grootheden op geschikte wijze definieert.

Wij gebruiken de volgende notaties en afkortingen:

T_E, V_E = absolute temperatuur, resp. volume van de expansieruimte (vroeger bij de heetgasmotor de warme ruimte genoemd, met index w).

T_C, V_C = absolute temperatuur, resp. volume van de compressieruimte (vroeger bij de heetgasmotor de koude ruimte genoemd, met index k).

V_0 = maximale waarde van V_E.

wV_0 = maximale waarde van V_C.

τ = T_C/T_E, temperatuurverhouding van de machine. Voor de motor is $\tau<1$, voor de koelmachine is $\tau>1$.

V_s = volume van de schadelijke ruimte, d.i. de som van alle volumina van het circuit behalve die van de cylinders.

T_s = absolute temperatuur van de schadelijke ruimte (over deze ruimte gemiddeld).

s = $\frac{V_s}{V_0}\cdot\frac{T_C}{T_s}$, relatieve gereduceerde schadelijke ruimte.

Wij gaan er nu van uit dat V_E en V_C harmonisch variëren en schrijven hiervoor:

$$\left.\begin{aligned} V_E &= \tfrac{1}{2}V_0(1+\cos\alpha) \\ V_C &= \tfrac{1}{2}wV_0[1+\cos(\alpha-\varphi)] \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (3)$$

Daarbij is:

α = krukhoek van de machine, gerekend van de stand waarbij de expansieruimte maximaal is. Rekenen we ook de tijd t van het tijdstip van

---

[4]) Wij vestigen hierop de aandacht, omdat in het aangehaalde artikel de overgang uitgevoerd is door de draairichting om te keren. Dit is iets minder eenvoudig (vooral voor de berekeningen hieronder), omdat dan tevens de warmtestroom van teken omkeert en de beide cylinders van functie verwisselen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

deze stand af en draait de machine met hoeksnelheid ω, dan is $\alpha = \omega t$.

φ = fazeverschil tussen de volumevariaties van de expansie- en de compressieruimte (φ is positief als V_E voorijlt).

Voor de berekening is het nodig de variatie van de druk p in de machine als functie van de krukhoek α te kennen.

De variatie van de druk

Alleen gebruik makend van de bekende gaswetten, is vroeger [1]) voor de drukvariaties afgeleid de formule:

$$p = p_{max} \frac{1-\delta}{1+\delta\cos(\alpha-\Theta)} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Hierin betekent:

p_{max} = maximale waarde van de druk,

$$\delta = \frac{\sqrt{\tau^2 + w^2 + 2\tau w \cos\varphi}}{\tau + w + 2s},$$

Θ is de fazehoek van de drukvariatie ten opzichte van de volumevariatie van de expansieruimte (p is minimaal voor $\alpha = \Theta$!); er geldt:

$$\operatorname{tg}\Theta = \frac{w\sin\varphi}{\tau + w\cos\varphi}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

De formule (4) geldt zowel voor de heetgasmotor als voor de koudgaskoelmachine. Ook de waarde van de grootheid δ, die slechts weinig van de temperatuurverhouding τ afhangt, is bij beide soorten machines ongeveer even groot, nl. 0,3-0,4. *De beide machines hebben dus vrijwel dezelfde drukvariatie; de faze Θ van de druk ten opzichte van de zuigerbeweging echter is in de beide gevallen geheel verschillend.* Men ziet dit al aan de formule (5) voor tg Θ: in de noemer daarvan staat de verhouding τ, welke voor de motor kleiner dan 1, voor de koelmachine groter dan 1 is, zodat Θ bij de motor groter is dan bij de koelmachine. Dit wordt ook geïllustreerd door *fig. 8*, waarin p volgens verg. (4) in een polair diagram is uitgezet als functie van de krukhoek α; men vindt een ellips met één der brandpunten in de oorsprong. Fig. 8*a* geldt voor een koelmachine, 8*b* voor een motor; men ziet het verschil in de ligging van de grote as der ellips, d.i. dus het verschil in Θ.

In *fig. 9* zijn, om de fazebetrekkingen nog duidelijker te maken, voor de koelmachine de druk p volgens (4) en tevens de volumina V_E, V_C en het totale volume $V_E + V_C = V$ (de „werkruimte") als functie van α in rechthoekige coördinaten uitgezet. Men ziet dat de druk bijna sinusvormig verloopt.

De minimale en de maximale druk treden op bij $\alpha - \Theta = 0$, resp. $= \pi$. Invullen in (4) levert de drukverhouding:

$$\frac{p_{max}}{p_{min}} = \frac{1+\delta}{1-\delta}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6a)$$

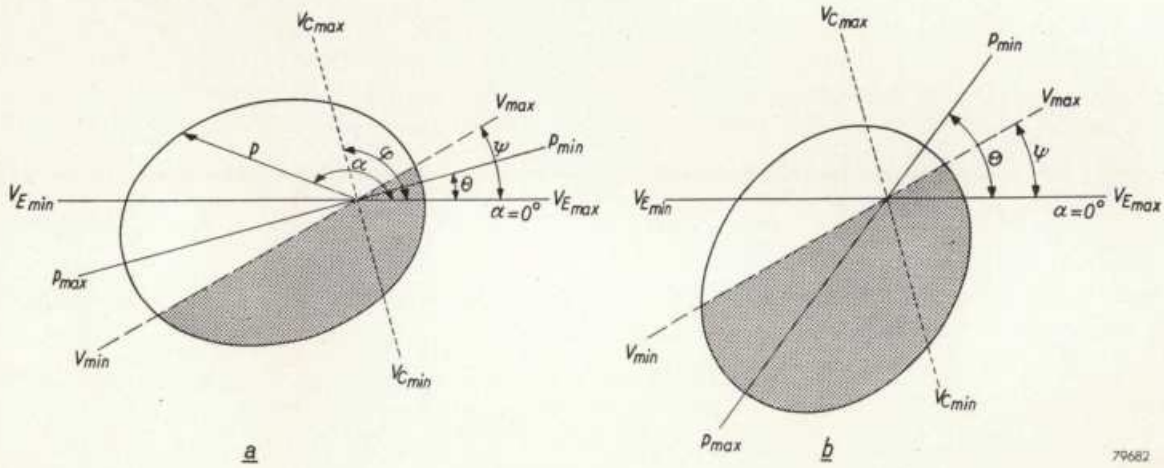


Fig. 8. Polair diagram van de drukvariatie als functie van de krukhoek α,
a) voor de koudgaskoelmachine ($\tau > 1$),
b) voor de heetgasmotor ($\tau < 1$).
De hoek α is gerekend van de stand af waarin het volume van de expansieruimte maximaal is. De drukverhouding p_{max}/p_{min} is hier duidelijkheidshalve aanzienlijk groter aangenomen dan de waarde die men in de practijk kiest (2 tot 2,5). De hoek φ wordt meestal tussen 60° en 120° gekozen.

Bij (*a*) is de fazehoek Θ van de drukvariatie kleiner dan de fazehoek ψ van de variatie van het totale volume $V(= V_E + V_C)$, terwijl in geval (*b*) Θ groter is dan ψ. Tijdens de expansieslag (van V_{min} naar V_{max}; geschaduwd deel van de ellips) is derhalve bij de koelmachine de gemiddelde druk kleiner dan tijdens de compressieslag (van V_{max} naar V_{min}), er wordt dus in totaal mechanisch vermogen aan de machine toegevoerd; bij de motor is het juist omgekeerd, deze levert dus mechanisch vermogen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

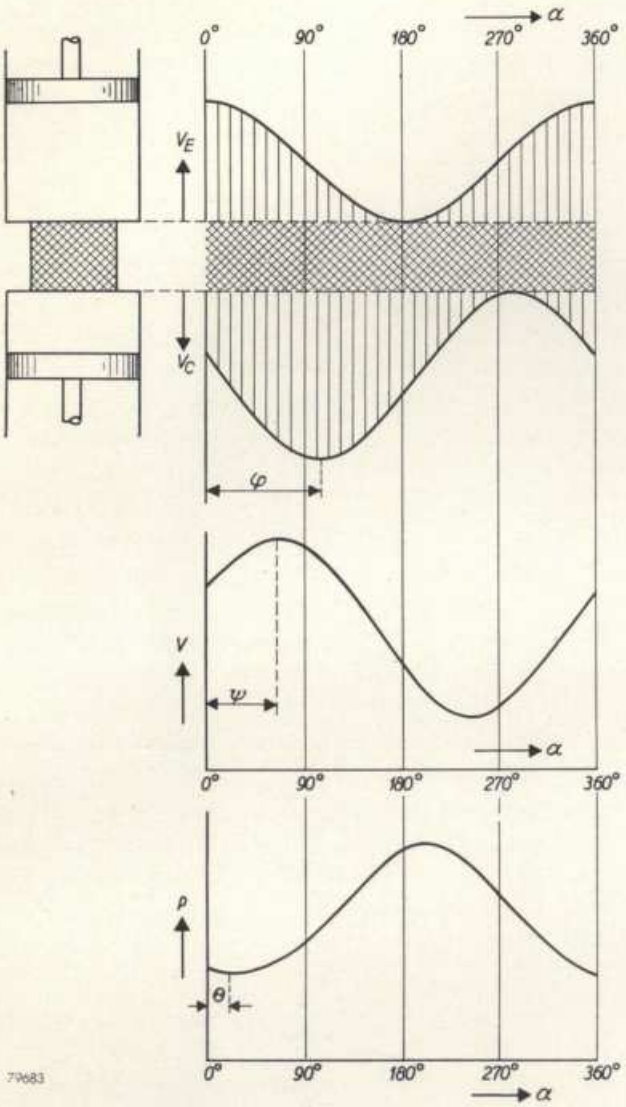


Fig. 9. De variatie van de volumina V_E, V_C, het totale volume (de „werkruimte") V en de druk p van de koelmachine, als functie van de krukhoek α, in rechthoekige coördinaten. Men ziet de fazerelaties; de druk varieert bijna sinusvormig.

Door integratie van de druk over de krukhoek α krijgt men een uitdrukking voor de gemiddelde waarde van de druk:

$$\bar{p} = p_{max} \sqrt{\frac{1-\delta}{1+\delta}}, \quad \ldots \quad (6b)$$

die bij de volgende berekening nog te pas zal komen.

Koelvermogen, asvermogen en rendement

Men kan op eenvoudige wijze de hoeveelheid warmte berekenen die door een medium in een gesloten ruimte wordt geabsorbeerd indien volume en druk beide zuiver sinusvormig variëren. Deze hoeveelheid warmte bedraagt per periode:

$$Q = \oint p \, dV. \quad \ldots \quad (7)$$

Wij stellen:

$$V = \tfrac{1}{2} V_0 (1 + \cos \alpha),$$
$$p = \bar{p} [1 - \Delta \cos (\alpha - \vartheta)], \quad \ldots \quad (8)$$

waarbij dus de druk een hoek ϑ in faze achter is bij het volume. Vullen wij dit in (7) in, dan volgt:

$$Q = \tfrac{1}{2} \bar{p} V_0 \oint [1 - \Delta \cos (\alpha - \vartheta)] \sin \alpha \, d\alpha,$$

$$Q = \pi \bar{p} V_0 \frac{\Delta}{2} \cdot \sin \vartheta. \quad \ldots \quad (9)$$

Men ziet dat Q positief of negatief is bij positieve resp. negatieve hoek ϑ. Bij de koelmachine klopt dit inderdaad: de druk is hier in faze achter bij het volume van de expansieruimte (het medium absorbeert hier warmte) en in faze vóór bij het volume van de compressieruimte (hier levert het medium warmte).

Willen wij formule (7) toepassen op de cylinders van de koudgaskoelmachine, dan moeten wij hierin de sinusvormig variërende volumina V_E en V_C volgens (3) en de niet-sinusvormig variërende druk volgens (4) invullen [5]). In de zo verkregen integraal levert echter, als wij (4) in een Fourier-reeks ontwikkelen, uitsluitend de grondcomponent van de druk een bijdrage. Wij komen dus weer tot verg. (9), waarbij alleen, zoals de Fourier-ontwikkeling leert, Δ moet worden vervangen door $2\delta/(1 + \sqrt{1-\delta^2})$, terwijl $\vartheta = \Theta$ voor de expansieruimte, en $\vartheta = \Theta - \varphi$ voor de compressieruimte. Wij krijgen zodoende voor de warmteabsorptie per periode in de expansieruimte:

$$Q_E = \pi \bar{p} V_0 \frac{\delta}{1 + \sqrt{1-\delta^2}} \sin \Theta \quad \ldots \quad (10)$$

en in de compressieruimte:

$$Q_C = \pi \bar{p} w V_0 \frac{\delta}{1 + \sqrt{1-\delta^2}} \sin (\Theta - \varphi). \quad (11)$$

Met behulp van het eerder vermelde verband (5) tussen Θ, φ en τ leidt men uit (10) en (11) af:

$$Q_C = -\tau Q_E. \quad \ldots \quad (12)$$

De koudeproductie per seconde q_E krijgen wij door Q_E te vermenigvuldigen met het aantal omwentelingen per seconde. Meten wij $\bar{p}$ in kg/cm², V_0 in cm³ en het toerental n in omw/min, dan volgt [6]):

$$q_E = 5{,}136 \, \bar{p} V_0 \frac{\delta}{1 + \sqrt{1-\delta^2}} \sin \Theta \frac{n}{1000} \text{ watt}. \quad (13)$$

[5]) Om te bewijzen dat de uitdrukking $Q = \oint p \, dV$, die voor een gesloten ruimte kon worden toegepast, ook in dit geval geldig is, moet men een, niet zeer eenvoudige, thermodynamische beschouwing houden, die wij hier achterwege laten.

[6]) In Europa is men gewend het koelvermogen uit te drukken in kcal/uur; de constante 5,136 in (13) moet hiertoe vervangen worden door 4,418. Voor de berekening van rendementen is de watt zeer gemakkelijk, daar het vermogen van electromotoren ook hierin uitgedrukt wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Analoog aan (12) heeft men $q_C = -\tau q_E$. Het toe te voeren asvermogen N volgt hieruit en uit de betrekking $N = -q_E - q_C$:

$$N = (\tau - 1)\, q_E . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Daarmee is ook het rendement van de koelmachine gegeven, nl.:

$$\eta = \frac{q_E}{N} = \frac{1}{\tau - 1} = \frac{T_E}{T_C - T_E} . \quad . \quad . \quad (15)$$

Dit is weer het rendement van het Carnotproces, dat wij reeds bij het gestyleerde Stirlingproces vonden en dat wij natuurlijk ook hier moeten krijgen, aangezien door de overgang tot een harmonische zuigerbeweging geen afbreuk gedaan is aan de volkomen omkeerbaarheid van het proces.

Het koelvermogen q_E en het asvermogen N volgens verg. (13) en (14) hebben wij in *fig. 10* uitgezet als functie van de temperatuur T_E van de expansieruimte, voor $T_C = 300$ °K (omgevingstemperatuur). De figuur toont nog eens het nauwe verband tussen de heetgasmotor en de koudgaskoelmachine. De formules (13) en (14) gelden voor beide en het verschil is alleen, dat voor de heetgasmotor $\tau = T_C/T_E < 1$ en voor de koelmachine $\tau > 1$ (waardoor de fazehoek Θ aanzienlijk verschilt, zie boven). Bij dalende T_E ziet men q_E volkomen gelijkmatig dalen; ook bij het passeren van de omgevingstemperatuur is er geen sprake van een discontinuïteit. Het toegevoerde asvermogen N verandert eveneens vloeiend; het teken ervan keert echter om als men de omgevingstemperatuur passeert, waarbij de motor in de koelmachine overgaat.

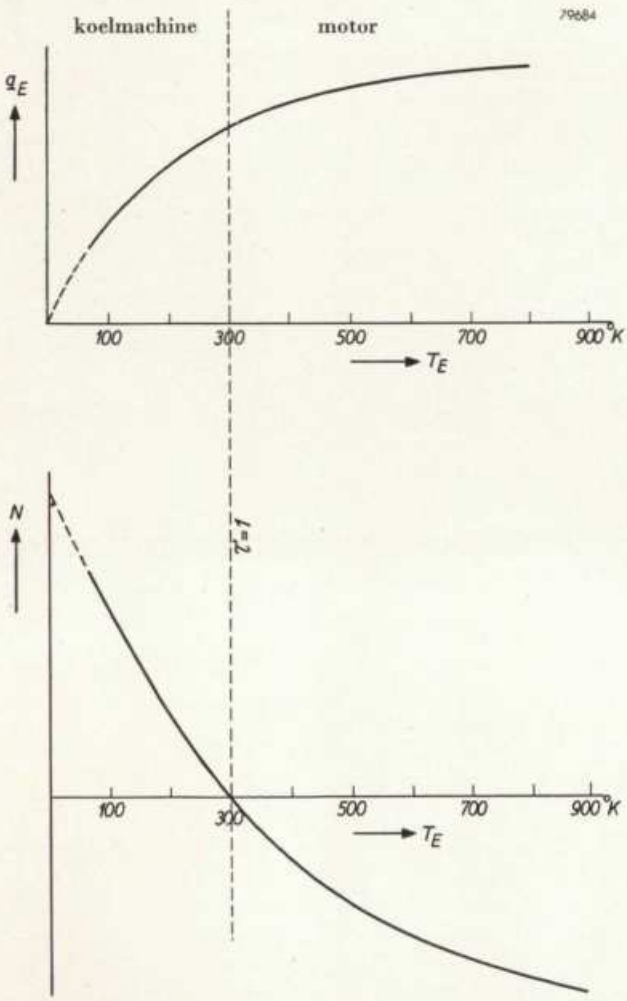


Fig. 10. Koelvermogen q_E en toegevoerd asvermogen N, als functie van de temperatuur T_E van de expansieruimte (bij $T_C = 300$ °K). Men krijgt één doorlopende kromme voor de heetgasmotor ($\tau < 1$, rechts van T_C) en de koudgaskoelmachine ($\tau > 1$, links van T_C).

Fig. 10 maakt de conclusie aanschouwelijk die we reeds bij bespreking van het gestyleerde proces getrokken hebben uit de rendementsformule: bij dalende vriestemperatuur T_E daalt het rendement sterk, doordat de koudeproductie afneemt en tegelijkertijd het vereiste asvermogen toeneemt (natuurlijk is ook een hoge „omgevingstemperatuur" T_C nadelig voor het rendement). *Het is dus voor een economische koeling essentieel de vriestemperatuur van de machine niet lager te kiezen dan nodig is.* Deze conclusie geldt trouwens voor alle koelprocessen. Het is bijv. zeer onvoordelig koude op te slaan in de vorm van vloeibare lucht als men er voorwerpen mee wil afkoelen tot slechts —100 °C. Dit illustreert het belang van een koelmachine die desgewenst ook in het tot dusverre vrijwel niet betreden temperatuurgebied tussen —80 °C en —180 °C economisch kan werken, waartoe de koudgaskoelmachine zich uitstekend leent.

In dit artikel hebben wij uitsluitend het ideale koudgaskoelproces behandeld. Het zal duidelijk zijn dat bij de realisering van het proces, door een aantal oorzaken, verliezen zullen optreden. Deze oorzaken zullen wij in het tweede artikel achtereenvolgens bespreken. Het zal daarbij blijken dat weliswaar de verliezen niet onderschat moeten worden, doch dat het desondanks mogelijk blijft machines met een groot koelvermogen te construeren die kleine afmetingen en een zeer goed rendement hebben. Dit zal dan ten slotte gestaafd worden door een nadere beschrijving van de hier in fig. 2 reeds afgebeelde machine. Momenteel zijn een aantal machines van dit type in de Philipsfabrieken regelmatig in gebruik voor het vloeibaar maken van lucht.

Samenvatting. Het is al meer dan een eeuw bekend dat men door omkering van het „heetgasproces" koude kan produceren. Pogingen dit zg. koudgaskoelproces in de practijk te brengen, waren tot dusverre niet succesvol. Door toepassing van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

analoge constructieprincipes als door Philips zijn ontwikkeld voor de heetgasmotor, is het thans gelukt een koudgaskoelmachine te maken die zeer bevredigende eigenschappen heeft. Een type, dat koude produceert bij ca. −200 °C, is in de Philipsfabrieken te Eindhoven in geregeld gebruik voor het vloeibaar maken van lucht. Dit geschiedt in één trap, bij geringe afmetingen van de machine en met een hoog rendement. De koudgaskoelmachine is echter ook in het bijzonder geschikt voor het gehele temperatuurgebied tussen −80 °C en −200 °C, dat door de conventionele koelmachines niet wordt bestreken.

In dit artikel wordt aan de hand van een gestyleerd proces, dat met een discontinue beweging van twee zuigers in twee cylinders werkt, het koudgaskoelproces beschreven en onderzocht. Getoond wordt hoe men dan kan overgaan tot een proces met harmonische zuigerbeweging; de nauwe verwantschap tussen dit proces en het heetgasproces wordt uitvoerig besproken. Ten slotte wordt dan, door gebruik te maken van de vroeger gepubliceerde theorie van het heetgasproces, de drukvariatie voor het ideale koudgaskoelproces met harmonische zuigerbeweging afgeleid, en hieruit worden het koelvermogen, het vereiste asvermogen en het rendement berekend.

De verliezen die bij de realisering van het proces optreden en de constructie van een uitgevoerde machine zullen in een volgend artikel worden behandeld.

EEN EXPERIMENTELE OPNEEMBUIS VOOR TELEVISIE, MET TOEPASSING VAN FOTOGELEIDING

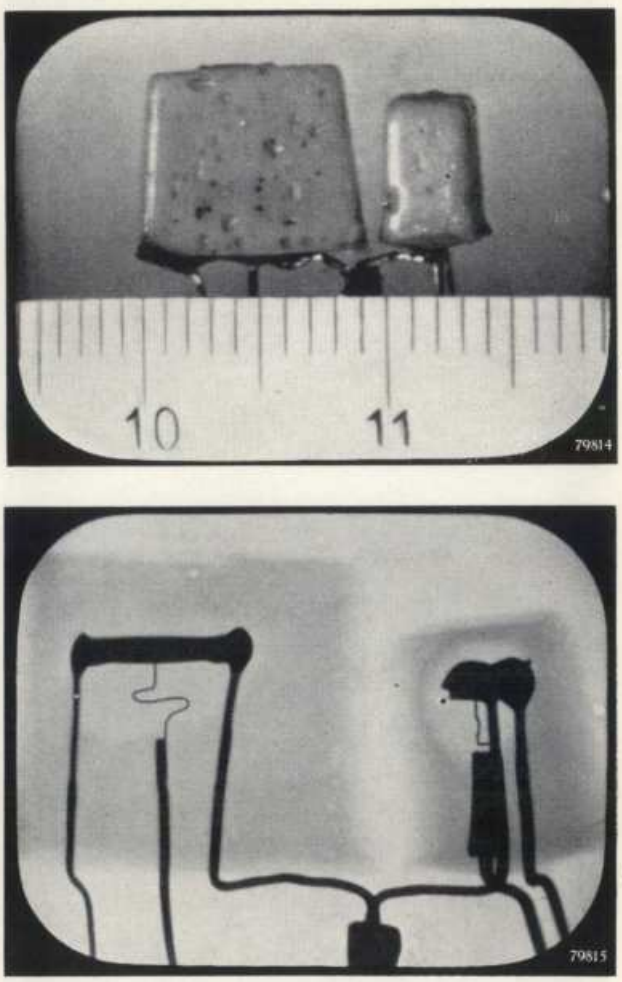
door L. HEIJNE, P. SCHAGEN en H. BRUINING.

621.383.4:621.385.832:621.397.611

De bij dit artikel gaande foto's hebben betrekking op een nieuw type opneembuis voor televisie, dat o.a. in het Philipslaboratorium te Eindhoven in ontwikkeling is [1]). In tegenstelling met oudere typen opneembuizen, waarbij de voor licht gevoelige laag bij belichting electronen in het vacuum uitzendt (foto-emissie), bevat de nieuwe buis een gevoelige laag die door licht electrisch geleidend wordt. Wanneer aanvankelijk een uniform verdeelde lading op de als beeldelectrode fungerende laag is aangebracht, zal deze lading bij belichting door de laag heen weglekken, en wel met een snelheid die afhankelijk is van de belichting ter plaatse; met andere woorden: op de plaatsen waar „wit" in het beeld voorkomt, zal meer lading door de laag wegstromen dan op donkere plaatsen. Aldus ontstaat op de beeldelectrode een ladingsbeeld. Dit wordt afgetast door een bundel langzame electronen. De aftasting vult de lading weer aan en doet tevens het televisiesignaal ontstaan.

De voor licht gevoelige stof die in onze buis gebruikt wordt, is speciaal geprepareerd loodoxyde. In tegenstelling met wat bij andere buizen van dit type het geval is, bevat deze stof een zwaar element — lood —, zodat ze de eigenschap heeft in aanzienlijke mate röntgenstralen te absorberen. Zelfs de dunne laag (5 μ) die in de buis aanwezig is, absorbeert voldoende röntgenquanta om een bruikbare fotogeleidingsstroom op te leveren. Men kan dus ook een röntgenschaduwbeeld van een object rechtstreeks in een televisiesignaal omzetten, en vervolgens op een weergeefbuis zichtbaar maken.

Van een opname in gewoon licht vindt men een voorbeeld in *fig. 1a*, van een röntgenschaduwbeeld in fig. 1*b*. Beide figuren zijn foto's van het beeld dat op het scherm van de weergeefbuis ver-



a

b

Fig. 1. Foto's van twee transistors, gemaakt door middel van een televisie-opneembuis waarin het principe van de fotogeleiding is toegepast. *a*) is gemaakt met normaal licht, *b*) met röntgenstralen; beide figuren zijn foto's van het beeld dat op het scherm van de weergeefbuis verschijnt. (Deze foto's zijn reeds gepubliceerd in Nature **173**, 220, 30 Januari 1954.)

[1]) P. K. Weimer, S. V. Forgue en R. R. Goodrich, The Vidicon photoconductive camera tube, R.C.A. Rev. **12**, 306-313, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schijnt. In fig. 1*a* werd het object — in dit geval twee transistors en een cm-schaal — op de normale manier door een lens afgebeeld op de beeldelectrode. Fig. 1*b* is het beeld dat men verkrijgt als men hetzelfde object direct vóór het venster van de opneembuis plaatst en het met röntgenstralen bestraalt. op de foto zichtbaar is. Duidelijker ziet men het in *fig. 3*, die bovendien nog enige details van het inwendige der camera toont, zoals de videovoorversterker en de één geheel vormende focusseerspoel en afbuigspoelen. Uit fig. 2 blijkt duidelijk dat men een sterk vergroot röntgenbeeld krijgt; bij gebruik

Fig. 2. Opstelling waarmee de foto fig. 1*b* is gemaakt. *CAM* televisiecamera met de nieuwe opneembuis. De lens (*L*) is verwijderd en direct vóór de buis is het door te lichten object (*O*) aangebracht (hier twee transistors). *R* röntgentoestel („Practix"). Op het scherm van de weergeefbuis links ziet men het sterk vergrote röntgenschaduwbeeld van de twee transistors.

Fig. 2 toont de opstelling waarmee deze opname is gemaakt. De bron van röntgenstralen is een „Practix" toestel, op 70 cm afstand van het object. De lens is van de camera verwijderd en vervangen door het object (de twee transistors), dat nog juist van een weergeefbuis van 35 cm diagonaal, zoals in fig. 2, is de vergroting 17 ×, daar het werkzame oppervlak van de opneembuis een middellijn van 2 cm heeft.

Fig. 4 ten slotte toont de buis zelf. Vergeleken

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 3. De camera, met de opneembuis (*P*) in de focusseerspoel en de afbuigspoelen (*FD*). Daarboven de videovoorversterker. Links, op de plaats waar de lens behoort te zitten, de twee transistors (*O*), die bij de in fig. 2 afgebeelde opstelling als object dienden.

heid van de doorzichtige, uit antimoon en cesium bestaande, foto-emitterende kathode die in verscheidene andere typen opneembuizen wordt gebruikt. De spectrale verdeling van de gevoeligheid is voor beide soorten ongeveer dezelfde.

Om de gevoeligheid voor röntgenstralen niet te benadelen, is gebruik gemaakt van een glassoort die voornamelijk lichte elementen bevat. Als gevolg hiervan absorbeert het venster, dat 1,2 mm dik is, slechts 10% van de met 5 mm aluminium gefilterde röntgenstraling, opgewekt in een röntgenbuis die werkt op 70 kV gelijkspanning. De 5 μ dikke laag loodoxyde absorbeert 5% van deze straling. Opgemerkt zij hierbij dat de gevoeligheid voor röntgenstralen niet groot genoeg is voor medische toepassingen, aangezien daarvoor grotere stralingsdoses nodig zouden zijn dan men een patient mag toedienen. De röntgentoepassingen blijven dus beperkt tot industriële objecten.

Een speciaal probleem bij fotogeleidende lagen

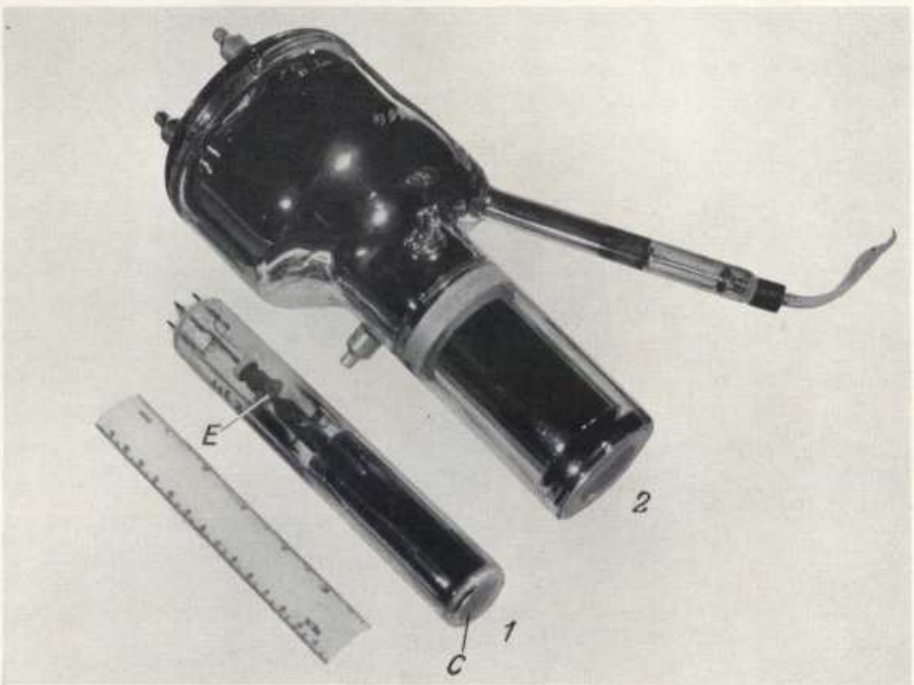


Fig. 4. *1* opneembuis met fotogeleidende beeldelectrode (*C*) en electronenkanon (*E*), ter vergelijking met een beeldiconoscoop (*2*), type 5854.

met de mede afgebeelde beeldiconoscoop type 5854, is de nieuwe buis aanzienlijk eenvoudiger van constructie en kleiner van afmetingen.

De gevoeligheid van de nieuwe buis bedraagt voor gloeilamplicht van 2600 °K kleurtemperatuur ongeveer 100 tot 200 μA signaalstroom per lumen. Dit is omstreeks een factor 3 groter dan de gevoeligheid van de vroeger beschreven opneembuis met fotogeleidende laag. Een ander voordeel — in tegenstelling met foto-emitterende lagen — is de vaak optredende traagheid van de fotogeleiding. De responsietijd van de gebruikte laag is evenwel voldoende kort voor de meeste industriële toepassingen. Gestreefd wordt naar een zodanige verkorting van deze tijd dat de buis ook bruikbaar wordt voor omroeptelevisie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET FOTOGRAFEREN VAN HET OOG MET BEHULP VAN ELECTRONISCHE FLITSLAMPEN

door J. E. WINKELMAN *) en N. WARMOLTZ.

771.447.4:617.7

De electronische flitslamp bezit, behalve een uiterst korte flitsduur, grote lichthoeveelheid en hoog rendement, nog een andere kenmerkende eigenschap, nl. een grote plooibaarheid — figuurlijk en letterlijk. Dit wordt geïllustreerd door het hier beschreven speciale lampje voor ophthalmologische doeleinden, dat het mogelijk maakt met een eenvoudige opstelling fraaie, scherpe oogfoto's in kleuren te verkrijgen.

De fotografische documentatie van de patient neemt thans in de oogheelkunde een belangrijke plaats in. Scherpe foto's, vooral kleurenfoto's, zijn veel volledige documenten dan de tekeningen waarvan de oogarts zich vroeger moest bedienen om zijn bevindingen vast te leggen.

Er zal hier het een en ander verteld worden over een opstelling die voor het maken van foto's in een oogheelkundige kliniek is ontwikkeld. Deze opstelling dient voor het fotograferen van de uitwendig zichtbare delen van het oog (het zg. voorsegment), waartoe behoren (*fig. 1*): het hoornvlies, de sclera (het harde oogvlies of zg. wit van het oog), het bindvlies, de voorste oogkamer, de iris, de pupil, de voorvlakte van de ooglens, de oogleden met de aangrenzende huid, en delen van het traanapparaat. In *fig. 2* zijn vier met de opstelling gemaakte kleurenfoto's van de ogen van verschillende patienten gereproduceerd. Voor het fotograferen van de oogachtergrond (de fundus oculi met o.a. het netvlies) gebruikt men bijzondere opstellingen, die wij hier niet zullen bespreken.

Als fotografisch object biedt het oog, vooral het zieke, grote moeilijkheden. Afwijkingen aan het oog zijn meestal zeer klein van afmeting, zodat het noodzakelijk is de opnamen op minstens ware grootte te maken. Bij de hiervoor nodige plaatsing van de camera op geringe afstand moet het objectief sterk worden gediafragmeerd om een voldoende diepteschерpte te verkrijgen. Neemt men nog de relatief geringe gevoeligheid van de kleurenfilm in aanmerking, dan is wel duidelijk dat men de opnamen slechts met zeer grote lichthoeveelheden kan vervaardigen. Daardoor kwam men zelfs met de sterkste, in aanmerking komende, continu brandende lichtbronnen tot vrij lange belichtingstijden, bijv. van enige seconden. Een normaal, gezond oog is reeds zeer moeilijk gedurende zulk een tijd stil te houden; bij een ziek oog is dit bijna ondoenlijk.

Uitkomst werd hier gebracht door de electronische flitslamp, die op haast ideale wijze aan de vermelde moeilijkheid tegemoetkomt. Deze lamp, die oorspronkelijk voor zeer speciale problemen werd ontwikkeld [1]) maar thans algemeen ingang in de fotografie heeft gevonden en in talrijke uitvoeringsvormen op de markt is, bestaat in hoofdzaak uit een meer of minder wijde, met een edelgas van niet al te lage druk gevulde glazen buis, waardoorheen men met behulp van twee electrodes en een ontsteek-

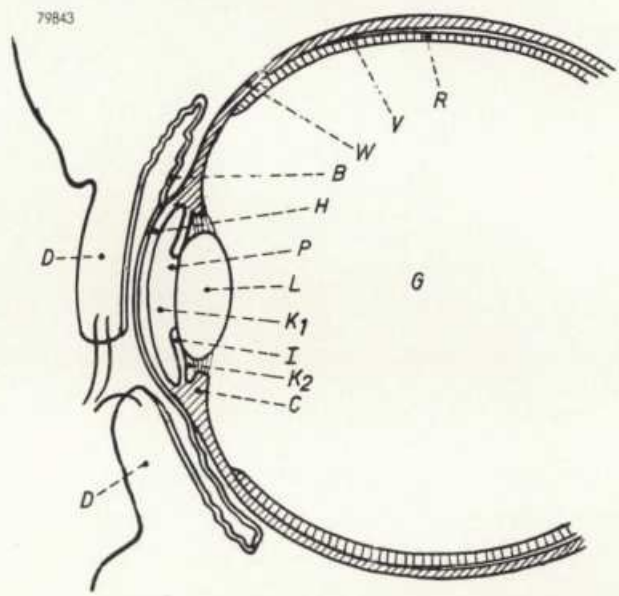


Fig. 1. Het voorsegment van het oog, in doorsnede getekend. D = oogleden. H = hoornvlies (cornea). W = harde oogrok, of wit van het oog (sclera). B = bindvlies (conjunctiva). L = ooglens. I = iris. P = pupil. K_1 = voorste oogkamer. Verder zijn nog aangegeven: K_2 = achterste oogkamer. C = spier voor accomodatie (ciliaire spier). V = vaatvlies (chorioidea). R = netvlies (retina). G = glasachtig lichaam.

*) Oogheelkundige Kliniek van het Wilhelminagasthuis te Amsterdam.

[1]) Zie bijv. S. L. de Bruin, Een toestel voor stroboscopische waarneming, Philips techn. T. **8**, 25-32, 1946; N. Warmoltz en A. M. C. Helmer, Een flitslamp voor het belichten van de nevelsporen in een Wilsonkamer, Philips techn. T. **10**, 183-192, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

draad een condensatorontlading stuurt [2]). Hierdoor wordt een lichtflits verkregen, die naar gelang van de constructie van de lamp en de bijbehorende apparatuur slechts enkele microseconden tot enkele milliseconden duurt, echter zo grote intensiteit bezit dat de totale uitgezonden lichthoeveelheid enige duizenden of enige tienduizenden lumenseconden bedraagt. Gedurende de genoemde korte tijden vertoont het oog geen merkbare reactie op de belichting, deze komt pas later — als de foto al gemaakt is. De specifieke lichtopbrengst der electronische flitslampen is zeer groot (van de orde van 40 lumen/watt), zodat aan de electrische voedingsapparatuur geen exorbitante eisen gesteld worden. Vergeleken bij de gewone flitslampen ten slotte heeft de electronische flitslamp voor deze toepassing de voordelen dat vrijwel geen warmte ontwikkeld wordt (waarvoor oogpatienten soms uiterst gevoelig zijn), dat het maken van een serie opnamen van een patient niet telkens door het verwisselen van de lamp onderbroken wordt, en dat een eenvoudige oplossing voor het hier zeer belangrijke probleem van het vooraf instellen mogelijk is (zie hieronder).

Fig. 2. Kleurenfoto's van de ogen van verschillende patienten, gemaakt met de hier beschreven opstelling, op daglichtkleurenfilm (geschikt voor een kleurtemperatuur van 6000-6500 °K).
a) Normaal oog. De tekening van de iris is fraai weergegeven.
b) Oog van een patient met diabetes. Men ziet fijne bloedvaten over de iris lopen.
c) Oog met „keratitis dendritica" in het hoornvlies. De takvormige zweer van het hoornvlies is met fluoresceïne groen gekleurd.
d) Oog met losgeraakte en verplaatste lens. De zwarte pupil is aan de bovenzijde zichtbaar, daaronder de naar onder en achter gezakte, troebele, lens.

In principe zijn diverse in de handel verkrijgbare types electronische flitslampen bruikbaar voor het beschreven doel, en er zijn dan ook al herhaaldelijk mededelingen over dergelijke opstellingen gepubli-

[2]) Zie bijv. Photogr. J. 89B, Mei-Juni 1949 (symposium over electronische flitslampen), of: M. Laporte, Les lampes à éclairs lumière blanche et leurs applications, Gauthier-Villars, Parijs 1949. (Een uitvoerig artikel over electronische flitslampen zal binnenkort in dit tijdschrift verschijnen. *Red.*)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ceerd [3]). Voor de te Amsterdam ontwikkelde opstelling echter werd uitgegaan van de gedachte dat men tot een zeer eenvoudig en tevens doeltreffend geheel zou kunnen komen door de lichtbron bij de specifieke eisen van de beoogde toepassing aan te passen. Deze eisen kunnen wij als volgt omschrijven. In de eerste plaats is het te fotograferen object zeer klein: de diameter ervan bedraagt maximaal 4 à 5 cm. Om met een niet te grote lens of spiegel een groot gedeelte van het licht der flitslamp op zulk een kleine oppervlakte te kunnen concentreren, is een flitslamp van zeer kleine afmetingen gewenst. Aan deze wens wordt kracht bijgezet door de noodzaak, de lichtbron zeer dicht naast de camera op te stellen. Men moet nl., ten einde een gelijkmatig verlicht beeld van het gekromde oogoppervlak te verkrijgen en voldoende licht in de diepte van de iris te werpen, deze lichtstralen zoveel mogelijk van voren, in de kijkrichting van de camera, op het object laten vallen. Ten slotte moet nog rekening worden gehouden met de kans op hinderlijke reflecties, zowel van het hoornvlies, dat als een bolle spiegel werkt, als ook van de conjunctiva. De beste maatregel die men hiertegen nemen kan, is, de opstelling zo te maken dat men van te voren kan zien waar de reflecties terechtkomen. Dit is mogelijk door de instelling te verrichten met een hulplichtbron, bijv. een gloeilamp van geringe, voor de patient niet hinderlijke, intensiteit, die het oog uit dezelfde richting moet belichten als waaruit vervolgens de flits gegeven wordt.

Deze overwegingen hebben geleid tot de constructie van een speciale flitslamp, die in *fig. 3* is geschetst. Zij bestaat uit drie, bijna in één vlak gelegen, windingen van een tamelijk nauwe glazen buis. In het centrum heeft deze spiraalvormige lamp een opening van ca. 1 cm diameter. Als hulplamp is een bepaald type reflectorlampje gekozen (type 6298 X 104), dat door middel van een ingebouwd ellipsoïdisch spiegeltje een beeld van zijn gloeidraad levert op ca. 2 cm afstand buiten het ballonnetje. Het reflectorlampje wordt achter de flitslamp geplaatst, zodanig dat het beeld van de gloeidraad in de genoemde centrale opening valt. Dit beeld en de flitslamp worden nu met behulp van een condensorlens van „Plexiglas" op het te fotograferen oog afgebeeld (*fig. 4*). Een matglaasje op de buitenzijde van de lens bewerkstelligt een geringe verstrooiing; zonder deze maatregel zou op het object de structuur van de erop afgebeelde lichtbron zichtbaar worden.

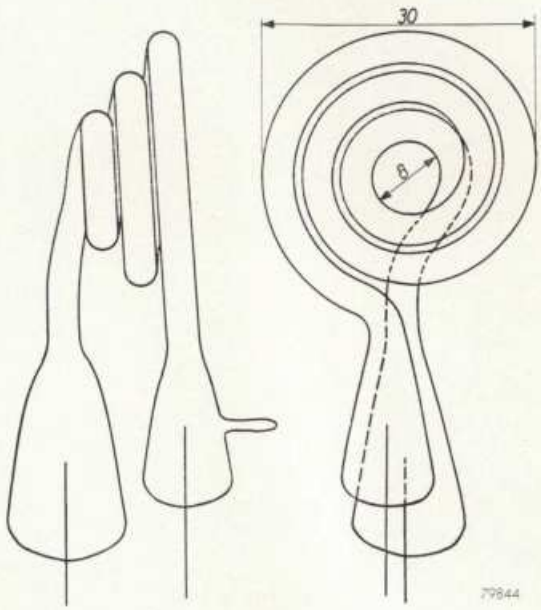


Fig. 3. Schets van de electronische flitslamp die speciaal voor het fotograferen van het oog werd ontwikkeld. De flitsontlading vindt plaats in een spiraalvormig opgewikkelde dunne glazen buis. De spiraal heeft een centrale opening van ca. 1 cm diameter.

Het gehele verlichtingssysteem is in een huis ondergebracht, dat zich vlak naast de camera bevindt en tezamen met deze op één statief is bevestigd (*fig. 5*). Als camera wordt een kleinbeeldcamera met spiegelreflex-aanzetstuk gebruikt (lens 1:3,5 met brandpuntsafstand 5 cm). De afstand van de lens tot het oog van de patient bedraagt normaal 6 à 7 cm, waarbij een opname op ca. $1^1/_2$ maal de

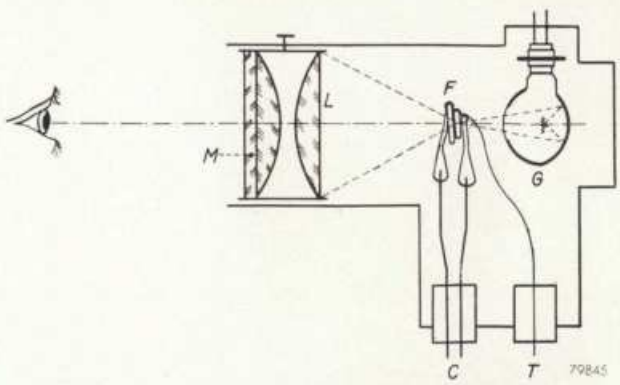


Fig. 4. Het verlichtingssysteem voor het fotograferen van het oog. F = electronische flitslamp. L = lens. M = matglaasje. G = reflectorlampje, dat voor het instellen dient. Dit lampje levert buiten zijn ballon een beeld van zijn eigen gloeidraad en is zo geplaatst dat dit beeld in de centrale opening van de spiraal van de flitslamp valt. C = aansluiting van condensator. T = toevoer van ontsteekimpuls.

[3]) Zie bijv. R. R. Trotter en W. M. Grant, Electronic flash (gas discharge) tube in photography of the anterior segment of the eye, Arch. Ophthalm. **40**, 493-496, 1948; N. Jeffreys, Problems of ophthalmological photography, J. Phot. Sci. **1**, 184-192, 1953 (Nov.-Dec.); G. Meyer-Schwickerath, Flash photography of the diseased eye, Phot. u. Forschung **5**, 170-173, 1953 (Juni).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ware grootte wordt verkregen. De flitslamp wordt gevoed uit een condensator van 4 μF, geladen tot ca. 5 kV, zodat de flitsenergie ongeveer 50 Wsec is. Ondanks deze betrekkelijk geringe energie, is, dank zij de goede concentratie van het licht, de verlichtingssterkte van het object voldoende om met een diafragma $f:16$ of nog kleiner te kunnen werken. De kleurtemperatuur van de flitslamp is ca. 6000 °K, overeenkomende met die van daglicht, zodat met daglichtkleurenfilm kan worden gewerkt.

Om zo nodig ook te kunnen werken met camera's die geen ingebouwd contact voor synchronisatie van de sluiter met een electronische flits bezitten, is voor de opstelling een eenvoudige voetschakelaar geconstrueerd, die bij indrukken achtereenvolgens de instellamp uitschakelt, de camerasluiter opent en de flitslamp ontsteekt. Het uitschakelen van de instellamp is gewenst om geen kans te lopen op een, zij het geringe, bewegingsonscherpte of op een verkeerde kleurenweergave door de te lage kleurtemperatuur van het gloeilampje.

Fig. 5. Opstelling van de camera en het verlichtingstoestel, op een gemeenschappelijk statief van een voor dergelijke onderzoekingen veel gebruikte soort. Het hoofd van de patient wordt gefixeerd met de in de oogheelkunde gebruikelijke kinsteun en voorhoofdsteun.

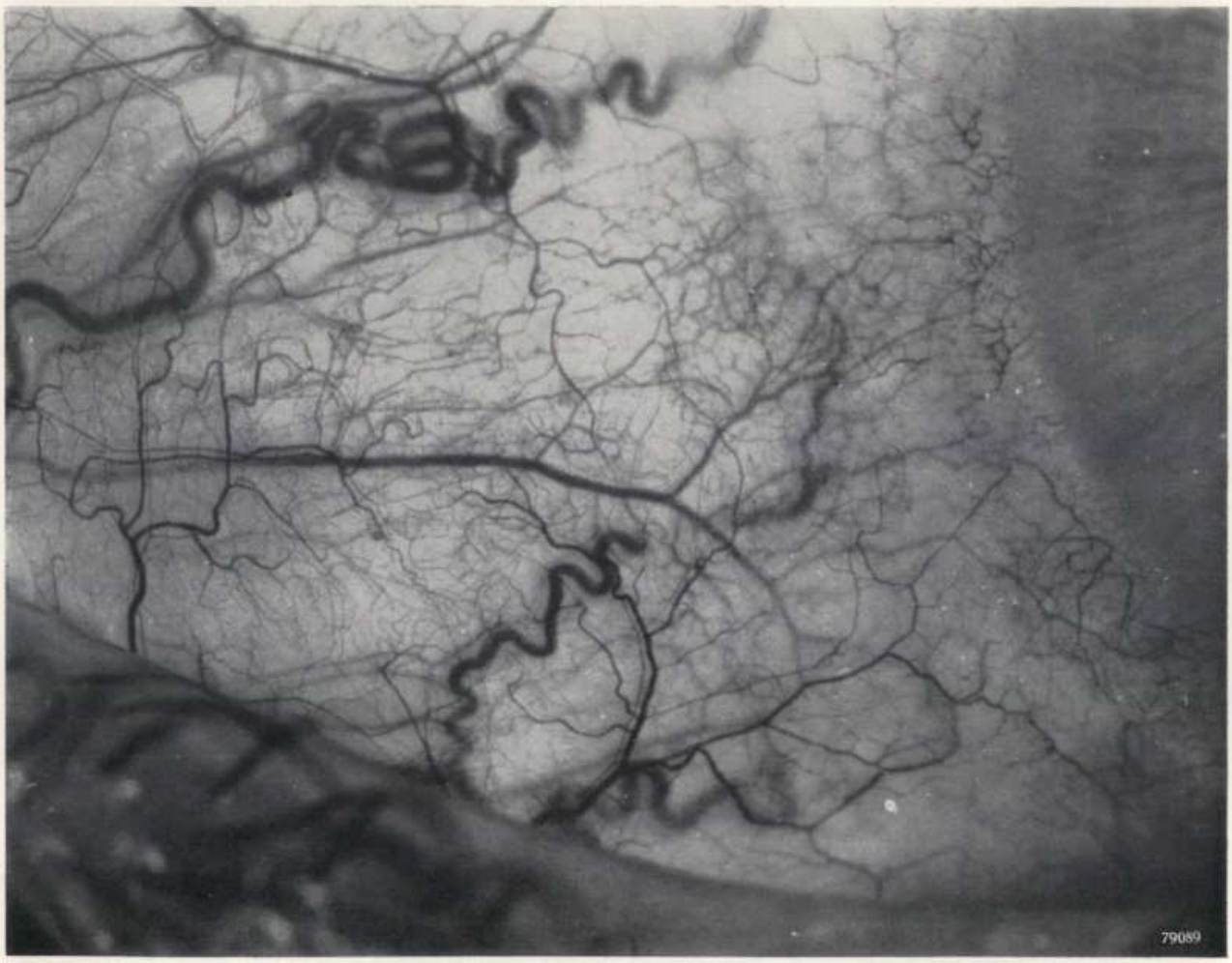


Fig. 6. Deel van de sclera en het bindvlies van een normaal menselijk oog, ca. 20 × vergroot. De opname is gemaakt met de hier beschreven opstelling. De scherpte is voldoende om de fijne vertakkingen van de bloedvaten van het bindvlies zichtbaar te maken. Rechts boven ziet men nog juist een gedeelte van het hoornvlies en links onder enkele oogharen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Enige met de beschreven opstelling gemaakte opnamen zijn reeds in fig. 2 weergegeven. Ondanks de nadelige invloed van het raster geven deze autotypieën toch een denkbeeld van de grote scherpte der foto's, die te danken is aan de volmaakte afwezigheid van beweging tijdens de belichting en aan de zeer grote diepte-scherpte.

De scherpte dezer opnamen is niet alleen nuttig om een zo getrouw mogelijke documentatie van patienten te verschaffen, maar heeft ook bewezen waarde te bezitten voor verdergaand wetenschappelijk onderzoek. Er is de laatste jaren in de oogheelkunde grote belangstelling ontstaan voor de bloedstroom in de fijnste adertjes van het bindvlies, in het bijzonder sinds de ontdekking door Ascher [4]) van de zg. „watervenen". In het algemeen kan men deze fijnste adertjes slechts waarnemen door het onderzoek met het zg. hoornvliesmicroscoop. Fotografie van dit fijne adernet behoort dan ook tot de moeilijkste opgaven.

Fig. 6, waarmee wij dit artikel willen besluiten, toont aan dat de scherpte der opnamen, gemaakt met de hier beschreven opstelling (dus zonder microscoop), een zodanige vergroting toelaat dat de bedoelde fijne bloedvaten van het bindvlies goed zichtbaar worden.

Drs. H. J. J. van Boort van het Physisch Laboratorium der lampenfabriek te Eindhoven heeft zijn medewerking verleend bij de ontwikkeling van het flitsbuisje en de verdere apparatuur. De heer G. Lammens van de Oogheelkundige Kliniek te Amsterdam heeft de opnamen gemaakt en ook een werkzaam aandeel gehad bij het tot stand komen van de beschreven opstelling.

Sammenvatting. Kleurenfoto's van de uitwendig zichtbare delen van het oog zijn een ideaal middel voor de oogarts om zijn bevindingen vast te leggen. Voor het maken van zulke foto's heeft men zeer grote lichthoeveelheden nodig, doch de grote gevoeligheid van zieke ogen maakt het gebruik van een voldoend sterke continue belichting bezwaarlijk. Een electronische flitslamp, speciaal geconstrueerd om te kunnen worden gebruikt in combinatie met een continu brandend instellampje, dat het oog uit precies dezelfde richting belicht, blijkt de meeste moeilijkheden te elimineren. De lamp werkt met een flitsenergie van slechts 50 Wsec. Met behulp van een eenvoudige optiek voor het concentreren van het licht op het te fotograferen oog kan men hiermee kleurenopnamen, op ca. $1^1/_2$ maal ware grootte, maken met een relatieve lensopening f : 16. Enige aldus gemaakte kleurenfoto's worden in het artikel gereproduceerd, evenals een 20-voudig vergrote opname van een normaal oog, die de grote verkregen scherpte demonstreert door zichtbaarmaking van de uiterst fijne bloedvaten van het bindvlies.

[4]) K. W. Ascher, Amer. J. Ophthalm. **25**, 31-38, 1942; **25**, 1174-1209, 1942; **27**, 1074-1089, 1944; **29**, 1373-1387, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

SPIEGELCAMERA'S VOOR ALGEMENE RÖNTGENDIAGNOSTIEK

door W. HONDIUS BOLDINGH. 778.33:771.31:616-073.75

De techniek van de verkleinde röntgenfoto, gemaakt met een camera, wordt op steeds ruimere schaal toegepast, thans ook in de algemene röntgendiagnostiek. Om daarbij de dosis der röntgenstralen waaraan de onderzochte persoon is blootgesteld, zoveel mogelijk te beperken, heeft men twee geheel verschillende wegen gevolgd. De ene is die van de steeds effectievere fotografische optiek, de andere die van de vergroting van de beeldhelderheid met electronische hulpmiddelen (o.a. door de röntgenbeeldversterker). Hoe de resultaten die volgens beide methodes verkregen kunnen worden, zich op den duur tot elkaar zullen verhouden, is bij de huidige stand van de ontwikkeling nog moeilijk te voorspellen. Inmiddels is op de eerste ontwikkelingslijn een zekere mate van afsluiting bereikt. Enkele van de nieuwste constructies op dit gebied worden in dit artikel beschreven.

De methodiek van de röntgencamerafotografie, dat is het fotograferen van een röntgenschermbeeld niet door rechtstreeks contact met de film maar door middel van een camera, is oorspronkelijk ontwikkeld voor het massa-longonderzoek. De merites die de methode voor deze tak van de medische diagnostiek heeft, zijn in dit tijdschrift herhaaldelijk en uitvoerig besproken [1)][2)]. Wij memoreren hier alleen het feit, dat men een documentatie verkrijgt zonder grote kosten voor filmverbruik en archiefruimte en dat men tot een zeer vlotte werkmethode gekomen is bij het controleren van hele bevolkingsgroepen.

Het centrale probleem voor het invoeren van de röntgencamerafotografie was de lichtsterkte van de camera, nodig om het zwakke fluorescentiebeeld in een korte tijd te kunnen fotograferen. Nadat aanvankelijk met lenscamera's was gewerkt, werd een belangrijke stap voorwaarts gedaan door de toepassing van een spiegeloptiek. Zulk een optiek (spiegelsysteem van Schmidt) en in het bijzonder een ermee uitgeruste camera voor 45 mm-film zijn eerder in dit tijdschrift beschreven [3)][4)]. De genoemde, inmiddels nog iets gewijzigde, camera levert een nagenoeg distorsievrije afbeelding van een vlak fluorescentiescherm ter grootte van 42 × 42 cm (nuttige oppervlakte) met een verkleiningsfactor $r \approx 10{,}5$. De camera bevat een optiek met een spiegel van 166 mm diameter en een correctieplaat met diameter $D = 125$ mm, terwijl de brandpuntsafstand f 104 mm bedraagt [5)]. Zij heeft bij de toegepaste verkleiningsfactor een effectieve apertuurverhouding $1{:}N_{\text{eff}} = 1{:}1{,}03$. De laatstgenoemde grootheid, die een rationele maat voor de lichtsterkte is (zie het in [4)] aangehaalde artikel), wordt berekend volgens de formule:

$$1 : N_{\text{eff}} = \frac{D}{f}\,\frac{r}{r-1}\,\sqrt{S}.$$

S is hierin de doorlating van het optische systeem (ook wel schaduwfactor genoemd): $1 - S$ geeft aan, welke fractie van het op de spiegel geworpen licht onderschept wordt door de filmhouder.

De bedoelde camera is verder voorzien van uitgebreide hulpinrichtingen voor automatische bediening en beveiliging, ten behoeve van het massa-longonderzoek.

Voor hetzelfde doel hebben wij inmiddels nog een tweetal soortgelijke camera's ontwikkeld voor filmbreedten van 35 mm resp. 70 mm, hoofdzakelijk omdat in verschillende landen deze formaten min of meer officieel zijn gestandaardiseerd of worden aanbevolen. De spiegeloptieken van deze drie camera's zijn in principe dezelfde (de 70 mm-camera is min of meer een evenredige vergroting van de 45 mm-camera, dwz. de hoofdafmetingen zijn ongeveer in de verhouding der filmbreedten vergroot). Ook wat betreft de filmhouder, het mechanisme voor het filmtransport en de hulpinrichtingen, zijn er geen fundamentele constructieverschillen, zodat wij op deze beide nieuwe camera's hier niet nader behoeven in te gaan.

Parallel met deze constructie van nieuwe camera's voor het massa-longonderzoek echter is een andere

[1)] A. Bouwers en G. C. E. Burger, Röntgenopnamen met de camera, Philips techn. T. **5**, 270-275, 1940.

[2)] H. J. Di Giovanni, W. Kes en K. Lowitzsch, Een transportabel röntgenapparaat voor massa-longonderzoek, Philips techn. T. **10**, 107-116, 1948.

[3)] P. M. van Alphen en H. Rinia, Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, Philips techn. T. **10**, 97-106, 1948.

[4)] W. Hondius Boldingh, Röntgencamerafotografie met behulp van spiegeloptiek, Philips techn. T. **13**, 281-293, 1951.

[5)] Aan de keuze van de diameter van de correctieplaat is nog speciale aandacht besteed. Met de gekozen diameter wordt een voor de practijk zo gunstig mogelijke combinatie van lichtsterkte en beeldscherpte verkregen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ontwikkeling gelopen, nl. die van camera's voor de algemene diagnostiek. De grote toeneming die het röntgenonderzoek nog steeds te zien geeft (in sommige grote ziekenhuizen worden circa 1000 opnamen van verschillende lichaamsdelen per dag gemaakt, grotendeels van het formaat 30 × 40 cm), leidde ertoe dat men meer en meer de röntgencamerafotografie voor een deel van de dagelijkse opnamen wil gaan toepassen, met het oog op de grote besparing in filmkosten. De mogelijkheid tot deze toepassing van de röntgencamerafotografie is juist geopend door de invoering van de spiegeloptiek: hierdoor konden de belichtingstijden worden verkort, waardoor de kwaliteit der schermbeeldopnamen op een voor vele diagnostische doeleinden bruikbaar peil is gekomen. Dit werd in het aangehaalde artikel [4]) reeds aangestipt.

De eisen van een zeer gemakkelijke bediening en een volledige beveiliging tegen fouten, die voor het massa-longonderzoek worden gesteld, gelden voor een camera voor algemene diagnostiek in mindere mate. Anderzijds zal men nu nog meer nadruk laten vallen op de gewenste kwaliteit der opnamen, en er is een aanpassing bij de werkwijzen van het algemene diagnostische onderzoek vereist. Met deze doelstelling voor ogen hebben wij een drietal nieuwe camera's geconstrueerd, die wij nu zullen beschrijven: één voor het maken van afzonderlijke opnamen, één voor het maken van kleine series, tot 30 opnamen, en één voor het maken van een dergelijke serie opnamen in snelle opeenvolging.

Het beeldformaat van de nieuwe camera's

De hier bedoelde spiegelcamera's voor algemene diagnostiek zijn alle geconstrueerd voor een filmbreedte van 70 mm. De filmbesparing ten opzichte van de contactopnamen op ware grootte is dan reeds zo aanzienlijk dat het weinig zin heeft een nog kleiner formaat te kiezen. Het niet al te kleine formaat van de 70 mm-film is hier aantrekkelijk, omdat men daarop in vele gevallen van de algemene diagnostiek de details waarom het begonnen is (vorm van met contrastmassa gevulde organen) al direct, zonder vergroting, kan waarnemen, terwijl voor een volledige beoordeling van de foto eenvoudige optische hulpmiddelen, zoals een loupe, voldoende zijn. Het grotere gewicht en de grotere omvang, vergeleken bij camera's voor kleiner filmformaat, zijn voor deze toepassing — waarbij transport niet voorkomt — geen bezwaar. Het is dan ook een opinio communis dat voor dit doel het 70 mm-formaat aangewezen is.

In werkelijkheid is de beeldbreedte natuurlijk geringer dan de breedte van de film: voor het aandrukken van de film tegen het filmvenster tijdens de opname moet aan weerskanten een strookje van de film opgeofferd worden. Dit strookje is breder dan in normale fotografische camera's, daar men de film bij gebruik van een spiegeloptiek volgens Schmidt een kromming volgens een boloppervlak moet geven. Om bij het boldrukken de nodige houvast aan de filmband te hebben, is een niet te smal aandrukvlak vereist. Het beeld is daardoor bij de eerder vermelde 70 mm-camera voor longonderzoek 58 mm breed geworden (verkleiningsfactor 7,2), en deze maat is ook bij de andere, thans te beschrijven 70 mm-camera's gehandhaafd. De optiek is dan ook voor al deze 70 mm-camera's geheel dezelfde.

De camera voor afzonderlijke opnamen

De constructie van de camera voor afzonderlijke opnamen is betrekkelijk eenvoudig, zoals men in *fig. 1* ziet. Voor het brengen van de film (een vlakke film, afgesneden op 70 × 70 mm) op zijn plaats tussen de holle spiegel en de correctieplaat dient een schuifcassette, waarin de film van te voren

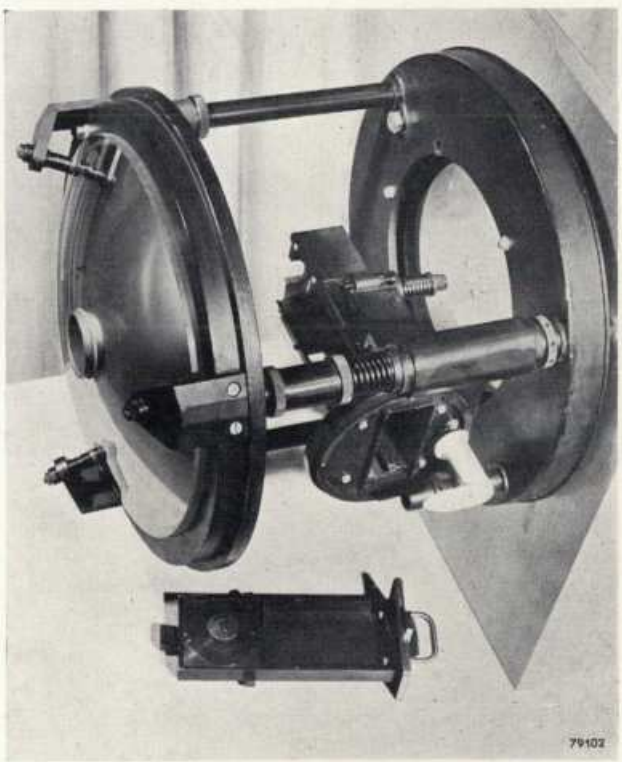


Fig. 1. Spiegelcamera voor afzonderlijke opnamen. Het omhulsel is hier verwijderd en de camera is op een houten stellage geschroefd. Links de sferische spiegel, rechts de correctieplaat, daartussen de cassettehouder, met de sleuf voor het inzetten van de cassette en een kruk voor het aandrukken tegen de centreerschroeven. Onder de camera een cassette.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

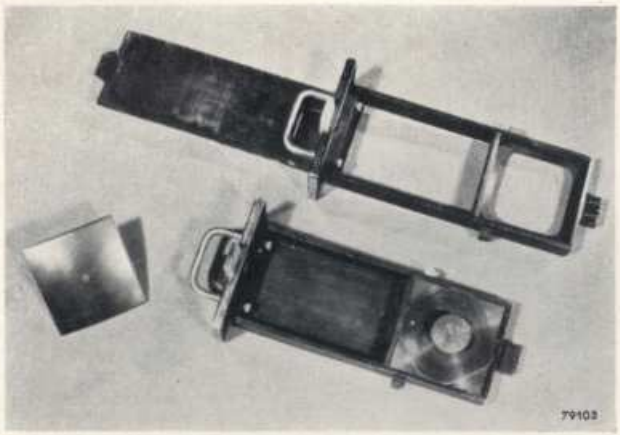


Fig. 2. Vooraan een cassette met ingezette boldrukplaat; men ziet de drie uitsteeksels die voor het nauwkeurig centreren dienen. Achteraan een cassette met weggenomen boldrukplaat (links) en uitgetrokken cassettedeksel.

reeds door een bolvormig gekromde aandrukplaat de vereiste bolle vorm verkrijgt (*fig. 2*). De axiale tolerantie voor de plaats van de film, of, nauwkeuriger gezegd, voor de plaats van het krommingsmiddelpunt van het bolvormige filmoppervlak, is uiterst gering: ten gevolge van de buitengewoon grote openingsverhouding van deze camera is de scherptediepte zo klein, dat een filmverplaatsing van slechts enige tientallen microns reeds een merkbare onscherpte veroorzaakt. Het probleem om de filmcassette met deze nauwkeurigheid op haar plaats te brengen, zou natuurlijk kunnen worden opgelost door een uiterst nauwkeurige afwerking van de cassettelade, waarin de cassette glijdt. Met het oog echter op de onvermijdelijke slijtage van de glijvlakken en om bij het verwisselen van de cassette steeds dezelfde nauwkeurigheid te waarborgen, hebben wij een veiliger methode gekozen. Elke cassette is van een drietal uitsteeksels voorzien (fig. 2), waarvan het naar de correctieplaat gekeerde oppervlak een voortzetting vormt van het bolgedrukte filmoppervlak, of, nog nauwkeuriger: van het aandrukraam van het filmvenster. Na het inschuiven van de cassette wordt de cassettelade door omleggen van een kruk in de richting naar de correctieplaat getrokken, waarbij de drie cassetteuitsteeksels tegen de punten van drie star met het spiegelsysteem verbonden stelschroeven komen te rusten (*fig. 3*). Daar een boloppervlak van gegeven straal (en krommingsrichting) slechts op één manier door drie punten kan worden gelegd, is aldus de juiste stand van de film gewaarborgd.

Het lichtverlies dat de filmhouder veroorzaakt, is bij deze camera kleiner dan bij de andere spiegelcamera's van onze reeks. Dit is te danken aan het feit dat men bij deze camera met losse stukken film werkt. Tussen het filmvenster en de buitenzijde van de camera heeft men daardoor geen lichtdichte filmgeleiding nodig en met het wegtrekken van het cassettedeksel, waardoor het gevoelige filmoppervlak blootkomt, opent men derhalve de doortocht voor een niet onaanzienlijk gedeelte van het licht dat van de correctieplaat naar de spiegel wordt gestuurd (fig. 2). De doorlating is dan ook bij deze camera zeer groot, nl. $S = 0{,}79$, terwijl ze bij de 70 mm-camera voor massa-longonderzoek 0,49 bedraagt, bij de 70 mm-seriecamera 0,55, en bij de 45- en 35 mm-camera's voor longonderzoek 0,53. Dienovereenkomstig is de lichtsterkte van de beschreven camera verreweg het grootst; de effectieve apertuurverhouding is 1 : 0,80, tegenover waarden van 0,96 en 1,0 resp. 1,03 en 1,05 bij de andere bovengenoemde types. De vereiste belichtingstijden bij deze camera zijn nog slechts circa 3 × langer dan die voor de gebruikelijke contactopnamen, bij gelijke spanning en stroom van de röntgenbuis. Het verschil kan nog aanzienlijk worden gereduceerd door een hogere buisspanning te kiezen; het hierdoor veroorzaakte verlies aan contrast compenseert men grotendeels door een film met steilere gradatie te gebruiken.

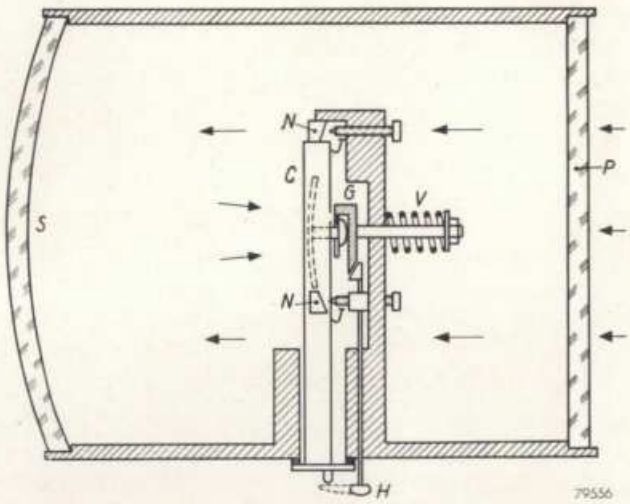


Fig. 3. Ter toelichting van het centreren van de film. Bij het inschuiven van de cassette *C* komt de knop van de boldrukker (vgl. fig. 2) in de grijper *G* te staan. Draait men daarna de kruk *H* en de hieraan gekoppelde nokkenas om, dan wordt *G* en dus ook de cassette door de veer *V* zover naar rechts getrokken, tot de uitsteeksels *N* van de cassette tegen de punten van de stelschroeven *J* rusten. *S* is de sferische holle spiegel, *P* de correctieplaat.

De seriecamera

Voor gevallen waar het röntgenwerk zo druk is dat het verwisselen van de cassette voor elke opname bezwaarlijk wordt, is de seriecamera ontwikkeld (*fig. 4*). Hierbij wordt de film uit een voorraadcassette, die 30 m film (voldoende voor 400 opnamen) kan bevatten, naar het filmvenster

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gevoerd en men heeft een ontvangcassette waarin tot 30 opnamen kunnen worden verzameld. Als dit aantal bereikt is of desgewenst ook eerder, eventueel zelfs dadelijk na iedere afzonderlijke opname, kan men de film afsnijden en de ontvangcassette van de camera afnemen om de belichte filmstrook te ontwikkelen.

De constructie van de seriecamera is erop berekend dit afsnijden van afzonderlijke opnamen mogelijk te maken zonder dat telkens een relatief lang stuk film wordt verspild. Hiertoe is een eigenaardige wijziging in het gebruikelijke filmtransportmechanisme aangebracht. Normaliter wordt de film door de camera heen langs de boldrukker getrokken; de trekrol met haar aandrijving bevindt zich buiten het optische systeem. Natuurlijk kan men de film niet tussen de trekrol en het filmvenster afsnijden, daar het transportmechanisme dan de film niet meer „beet" zou hebben. Wil men een opname direct na de belichting ontwikkelen (dwz. zonder eerst nog enige andere opnamen af te wachten), dan moet men dus dit filmgedeelte tot voorbij het trekmechanisme transporteren en verscheidene beeldlengten onbelicht laten. Dit nu is bij onze seriecamera vermeden, doordat de filmstrook niet langs het filmvenster wordt getrokken doch wordt geduwd. De belichte en doorgeduwde filmstrook kan daardoor zeer dicht achter het filmvenster worden afgesneden: men behoeft op één snijplaats slechts $2 \times {}^1/_2 = 1$ beeldlengte op te offeren (dit is nodig voor lichtdichte afsluiting van de film voor en achter de snijplaats), en men verliest dus per afgesneden filmstrook slechts één beeldlengte. Wordt de film in de camera na de volgende opname verder geduwd, dan leidt een trechtervormige gleuf hem in de inmiddels verwisselde ontvangcassette; zie *fig. 5*.

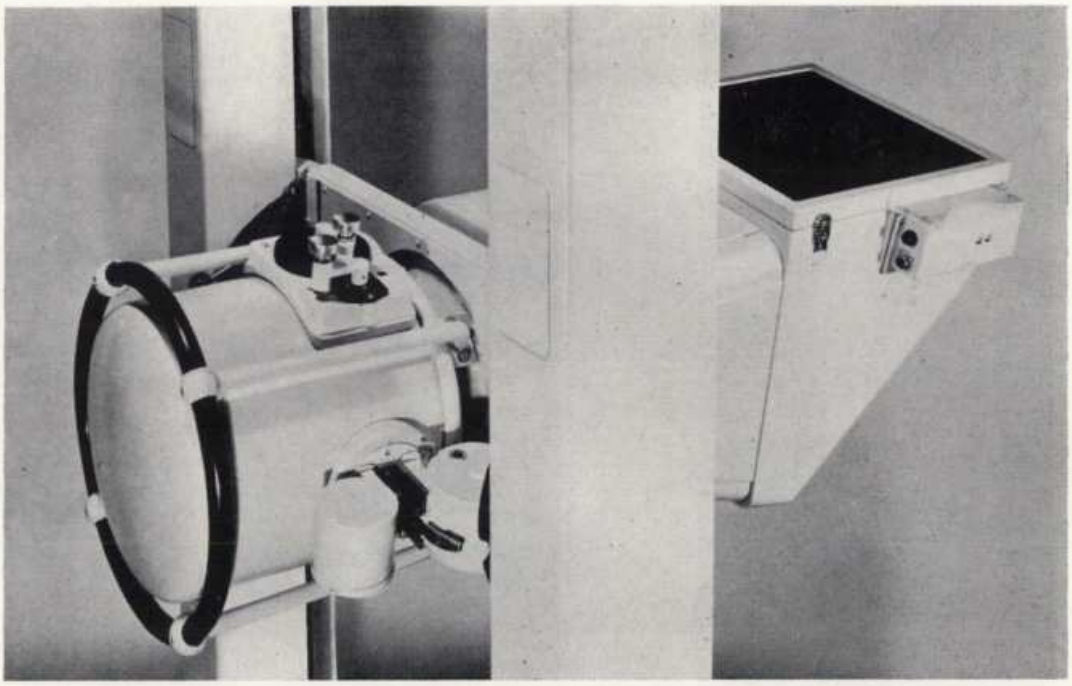


Fig. 4. Spiegelcamera voor series van maximaal 30 opnamen. Aan de zijkant van de camera ziet men de voorraadcassette voor 30 m film en de ontvangcassette, bovenop bevindt zich de kruk met telwerk voor het filmtransport en een kruk voor het afsnijden van de film.
De camera is bevestigd op een, in een statief glijdende, geknikte koker, die aan het andere einde het fluorescentiescherm en een onder 45° geplaatste vlakke spiegel bevat; koker en camera kunnen ca. 270° om de as van de camera worden gedraaid. Hierdoor kunnen o.a. opnamen verticaal omlaag of omhoog van een horizontaal op een normale onderzoektafel liggende patient worden gemaakt.

Het filmtransport geschiedt bij deze camera met de hand, door omdraaien over een hele slag van een kruk, die tevens voor het loslaten en weer boldrukken van de film in het filmvenster zorgt.

Hoewel de optiek dezelfde is als bij de bovenbeschreven camera voor afzonderlijke opnamen en bij de camera voor massa-longonderzoek, verschillen de drie camera's voor het overige zozeer van constructie, dat niet getracht is ze van gelijke of verwisselbare onderdelen te voorzien. Een dergelijke universaliteit zou elk type op zichzelf gecompliceerder en duurder hebben gemaakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

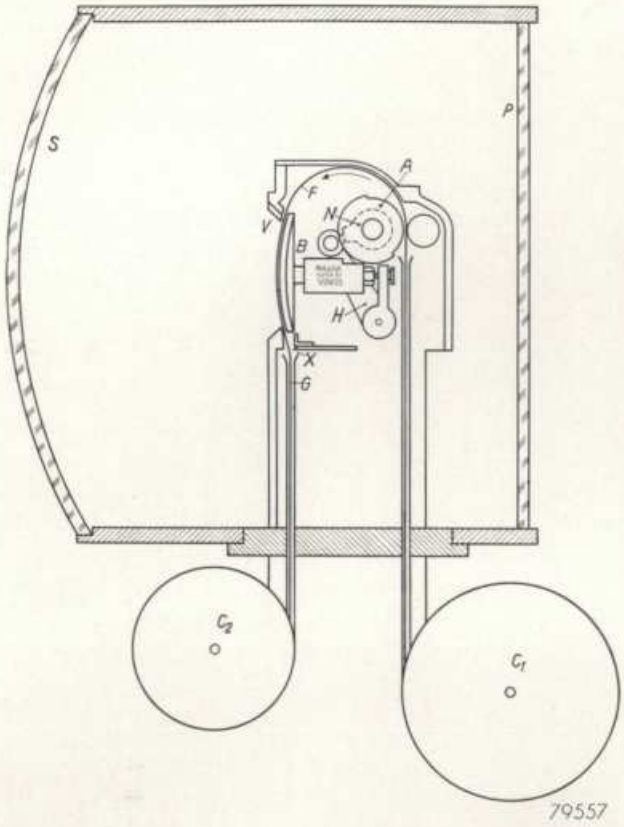


Fig. 5. Doorsnede (sterk vereenvoudigd) van de seriecamera. Men ziet de transportrol A, die met behulp van een aandrukrol de filmstrook F langs het filmvenster V duwt en via een nok N en hefboom H de boldrukplaat B beweegt; verder het snijmechanisme bij X en de trechtervormige gleuf G van de ontvangcassette C_2, die de doorgeduwde film opneemt. C_1 = voorraadcassette.

Seriecamera met snel transport

Een zeer belangrijke tak van de röntgenologie is het zg. functionele röntgenonderzoek, waarbij, in de regel met behulp van een in het lichaam gebracht contrastmiddel, de bewegingen van organen tijdens hun functie zichtbaar worden gemaakt. Hierbij moeten vaak 10 of meer opnamen snel achter elkaar gemaakt worden. De grote kosten van de film en de moeilijke verwezenlijking van de snelle opeenvolging bij opnamen op ware grootte hebben tot nu toe de ontwikkeling van deze diagnostisch waardevolle methode geremd.

Door de röntgencamerafotografie zijn er thans aanzienlijk betere voorwaarden voor geschapen. Het is bij de zojuist beschreven seriecamera mogelijk gebleken de film zo snel te transporteren, dat men 5 opnamen per seconde kan maken. Voor het tot stand brengen van deze snelle filmwisseling is een electrische inrichting aangebracht, die als volgt werkt.

Een electromotor, die op de camera gemonteerd is, drijft continu een as A_1 aan (zie *fig. 6*), die draait met 5 omwentelingen per seconde. Met behulp van een zg. opzetmechanisme brengt deze as een andere as, A_2, in discontinue beweging, nl. zodanig dat A_2 in $^1/_{10}$ seconde een hele slag omdraait, dan gedurende $^1/_{10}$ seconde stil staat, vervolgens weer in $^1/_{10}$ seconde een slag omdraait enz. Deze discontinu bewegende as nu kan, op het moment dat ze stilstaat, door middel van een electromagnetisch bediende klauwkoppeling gekoppeld worden aan het aandrijfmechanisme van het filmtransport, dat hier verder hetzelfde is als bij de boven beschreven seriecamera. Is de koppeling tot stand gebracht, dan wordt dus gedurende de eerstvolgende omwenteling van de as A_2 een volledige cyclus van het filmtransport uitgevoerd, dwz. het terugtrekken van de boldrukplaat, het doorduwen van de film en het opnieuw boldrukken van de film. Gedurende de dan volgende periode van stilstand van de as A_2, die $^1/_{10}$ seconde duurt, kan een röntgenopname gemaakt worden.

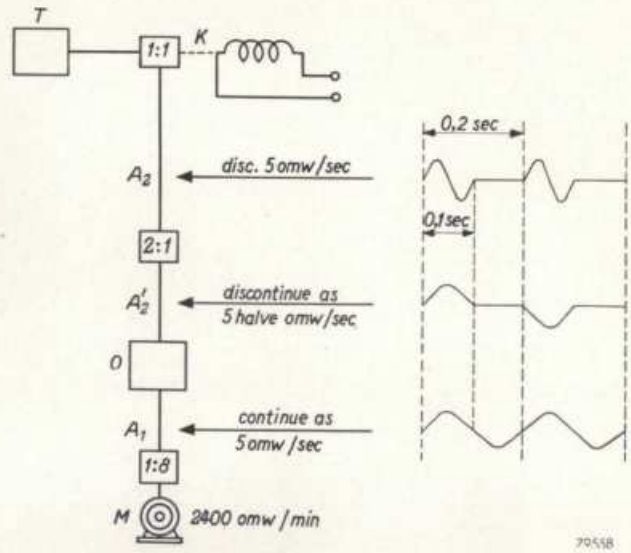


Fig. 6. Schematische voorstelling van het mechanisme van de spiegelcamera met snel transport. Rechts zijn symbolisch de omwentelingen van de continu resp. discontinu draaiende assen A_1 resp. A_2' en A_2 aangeduid. M motor, O opzetmechanisme, K electromagnetische koppeling, T filmtransportinrichting en boldrukker. Is K permanent ingeschakeld, dan wordt 5× per seconde de film getransporteerd en telkens een opname (met belichtingstijd hoogstens 0,1 sec) gemaakt.

Hiertoe wordt door een contact in de camera een electrisch signaal aan de tijdschakelaar van het röntgenapparaat doorgegeven. Na deze periode draait de as weer om en wordt de film getransporteerd, enz.

Men ziet dat op deze wijze — als de magnetische koppeling permanent ingeschakeld blijft — 5 opnamen per seconde gemaakt worden, iedere opname met een belichtingstijd van ten hoogste $^1/_{10}$ seconde; de duur van de belichting wordt uiteraard door

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

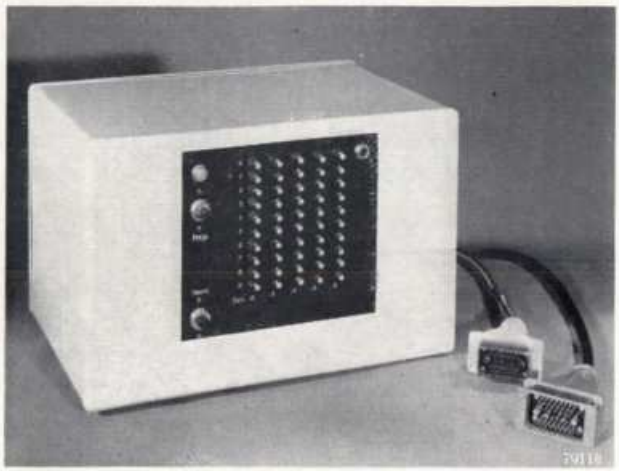


Fig. 7. De programmakiezer voor de camera met snel transport. De 50 drukknoppen corresponderen met de 50 periodes van $^1/_5$ sec in een tijd van 10 seconden. Door indrukken van elke knop, vóór het begin van de gehele opnameserie, commandeert men het al of niet ingeschakeld zijn van de magnetische koppeling in de bijbehorende periode, en daarmee het al of niet maken van een röntgenopname.

middel van de tijdschakelaar van het röntgenapparaat op de gewenste waarde ingesteld. Men kan echter desgewenst na het transporteren van de film de electromagnetische koppeling tussen de discontinu doordraaiende as A_2 en het transportmechanisme voor één of enkele periodes verbreken, en zodoende een geringer aantal opnamen per seconde maken, zonodig ook met een langere belichtingstijd dan $^1/_{10}$ sec. Voor dit doel is als hulpapparaat bij de camera een zg. programmakiezer geconstrueerd, (*fig.* 7). Deze bevat een serie van 50 contactknoppen, die corresponderen met de 50 opeenvolgende omwentelingen (periodes) van de discontinu draaiende as in het tijdsverloop van 10 seconden. Met elke knop commandeert men vóór het begin van de gehele opnameserie, via een relaissysteem, de magnetische koppeling voor de bijbehorende periode, dwz. men kan voorschrijven of in die periode de film al dan niet getransporteerd en het röntgenapparaat ingeschakeld moet worden.

Het opzetmechanisme, dat door de continue draaiing van as A_1 de discontinue draaiing van as A_2 teweeg brengt, heeft zijn welbekende pendant in het Maltezer kruis, dat in filmprojectietoestellen gebruikt wordt om de opeenvolgende filmbeeldjes ruksgewijze voor het filmvenster te brengen [6]) (het zg. opzetten van de film, vandaar de naam van het mechanisme). Bij de meest gebruikelijke uit-

[6]) Voor een beschrijving zie bijv.: J. J. Kotte, Een professionele cinemaprojector voor 16 mm-film, Philips techn. T. **16**, 17-30, 1954 (No. 1).

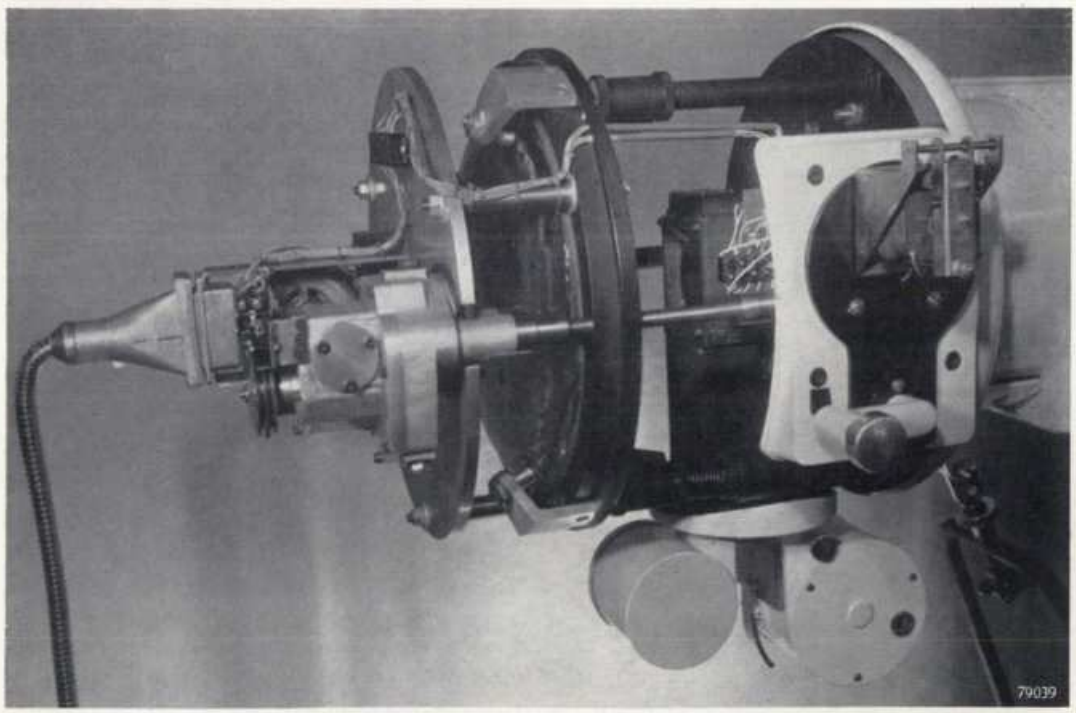


Fig. 8. Het inwendige van de spiegelcamera met snel transport. Links ziet men het opzetmechanisme met daarachter de aandrijvende electromotor; rechts de electromagnetische koppeling, die de discontinu draaiende as (A_2 in fig. 6) al dan niet koppelt aan het eigenlijke filmtransportmechanisme.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

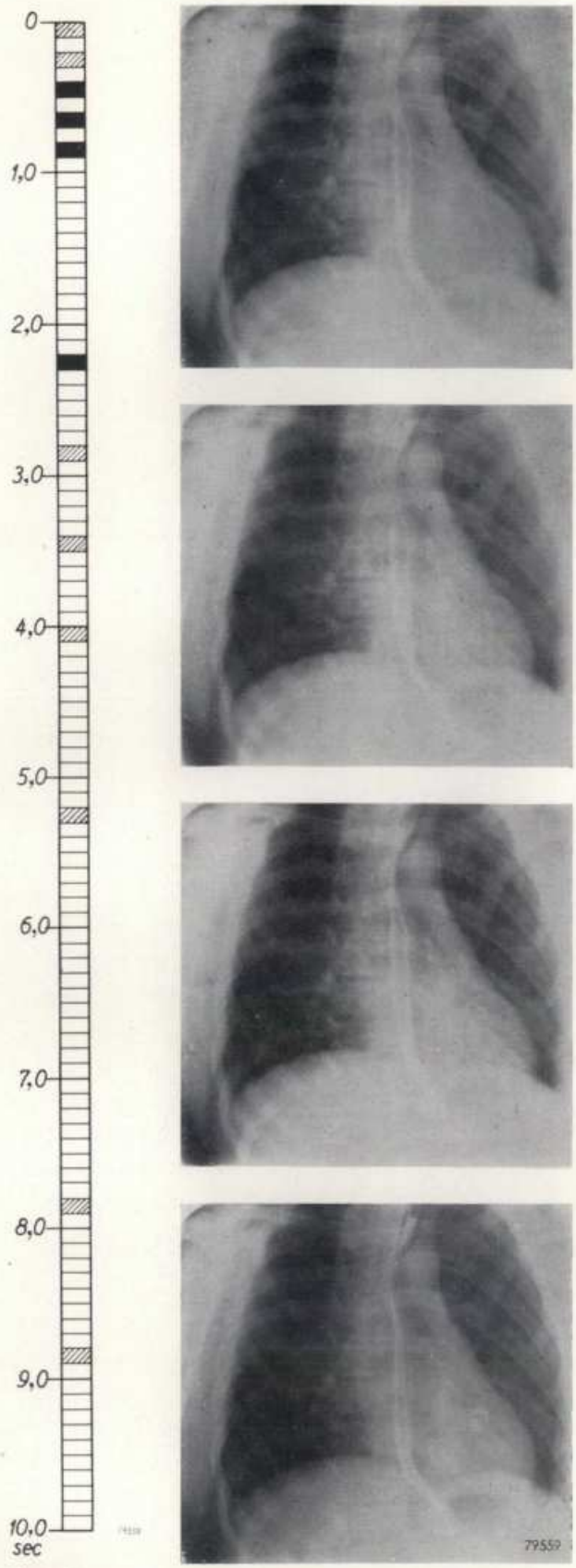


Fig. 9. Serie van 4 opnamen van de slokdarm, gemaakt met de spiegelcamera met snel transport. Links het schema van de gehele opnameserie: in de gearceerd aangegeven periodes werden opnamen gemaakt; die van de zwart aangegeven periodes zijn hier gereproduceerd. Het verloop van de slikbeweging is dank zij het toegediende contrastmiddel duidelijk te zien.

voering van het Maltezer kruis maakt dit telkens in een zekere korte tijd $^1/_4$ omwenteling en blijft dan gedurende een 3 maal zo lange tijd stil staan. In ons geval, waar we uitgaan van een beeldperiode van $^1/_5$ seconde, zou dit betekenen dat het eigenlijke filmtransport zou moeten geschieden in $^1/_{40}$ seconde (nog $^1/_{40}$ sec is nodig voor het boldrukken). De hiervoor nodige, grote versnellingen zouden gevaarlijk kunnen worden voor de film. Voor de hier gewenste discontinue beweging werd daarom een nieuw opzetmechanisme geconstrueerd, waarbij, zoals beschreven, het opzetten even lang duurt als de periode van stilstand. De discontinu draaiende as A_2' van dit mechanisme maakt in $^1/_2$ periode van de continu draaiende as A_1 een halve omwenteling en staat gedurende de andere helft van de periode stil. Door een tandwieloverbrenging 2:1 wordt ervoor gezorgd dat de door A_2' aangedreven as A_2, die met de filmtransportrol wordt gekoppeld, telkens een hele omwenteling maakt; dit is gewenst omdat men bij een halve omwenteling en bij ons beeldformaat in een onhandig grote straal voor de transportrol zou vervallen.

In *fig. 8* ziet men een foto van het inwendige van de seriecamera met snel transport.

De resultaten die met deze camera kunnen worden verkregen, worden geïllustreerd door *fig. 9*, een reproductie van een serie opnamen, gemaakt tijdens een functioneel diagnostisch onderzoek van de slokdarm. Door vergelijking van de opeenvolgende opnamen kan men duidelijk vaststellen met welke snelheid de contrastmassa (resp. een hierin aanwezige luchtbel) zich tijdens een slikbeweging in de slokdarm naar beneden verplaatst. De kwaliteit van de opnamen is voor dit onderzoek alleszins voldoende.

Samenvatting. De methode der röntgencamerafotografie, ontwikkeld voor het massa-longonderzoek, begint ook van belang te worden voor de algemene röntgendiagnostiek. Drie spiegelcamera's volgens Schmidt, alle drie werkend met 70 mm-film en met een verkleiningsfactor van 7,2, zijn voor dit doel geconstrueerd en worden hier beschreven. De eerste, met effectieve apertuurverhouding 1:0,80, dient voor het maken van afzonderlijke opnamen. Bij deze camera wordt de wijze van centreren van de film nader besproken. Met de tweede camera, die voorzien is van een voorraad- en een ontvangcassette, kunnen series tot 30 opnamen worden gemaakt, doch desgewenst kan de filmstrook na één of enkele opnamen worden afgesneden en ontwikkeld. Het filmverlies bij de afsnijdingen is tot een minimum beperkt door de film niet langs het filmvenster te trekken doch te duwen. De laatste camera, die in hoofdzaak identiek is met de seriecamera, bevat een mechanisme voor snel transporteren van de film, waardoor series opnamen met een snelheid van 5 opnamen per seconde kunnen worden gemaakt — een mogelijkheid die van belang is voor het zg. functionele röntgenonderzoek.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2105*: J. C. Francken: Electron optics of the image iconoscope (Diss. Delft 1953, 164 blz.).

Dit proefschrift behandelt de electronenoptische afbeelding van een grote (foto-)kathode door middel van samenwerkende rotatiesymmetrische electrische en magnetische velden. De ontwikkelde theorie wordt toegepast op de afbeelding in de beeld-iconoscoop.

Nadat in hoofdstuk I het te bestuderen type electronenlens beschreven is en in het kort de beeldiconoscoop ter sprake is gekomen, wordt in H. II het electrostatische veld besproken. Aangegeven wordt hoe het veld bij vereenvoudigde randvoorwaarden theoretisch kan worden bepaald. Voor de bepaling van de werkelijke veldverdeling wordt gebruik gemaakt van het zg. weerstandsnetwerk. Deze meetmethode werd nader geanalyseerd en verbeterd. In H. III wordt het magnetische veld van de afbeeldspoel behandeld. De nodige veldmetingen worden uitgevoerd volgens de methode van Mentz en Le Poole, welke uitvoerig op haar nauwkeurigheid wordt onderzocht. In H. IV worden eerst de algemene en vervolgens de paraxiale baanvergelijkingen opgesteld, en de voorwaarden nagegaan waaronder deze laatste mogen worden gebruikt. In H. V worden oplossingen van deze vergelijkingen in reeksvorm gegeven, welke aanleiding geven tot een algemene oplossing voor de electronenbanen in het beschouwde type electronenlens. In H. VI worden paraxiale electronenbanen berekend in de Philips beeldiconoscoop, zowel voor de buis met als zonder „anodegaasje". De gebruikte numerieke rekenmethodes worden uitvoerig besproken en op haar nauwkeurigheid onderzocht. Aan de hand van de berekende banen wordt het mechanisme van de afbeelding duidelijk gemaakt. Ten slotte worden de cardinale punten gedefinieerd op een wijze die aangepast is bij het bijzondere karakter van dit soort electronenlens. In H. VII worden experimenten beschreven welke verband leggen tussen de vorm van de afbeeldspoel enerzijds en de vergroting en beelddraaiing anderzijds. Deze experimenten leidden tot een spoeltype waarmee het mogelijk is de vergroting continu te variëren zonder dat de beelddraaiing verandert. In de hoofdstukken VIII en IX komen ter sprake: afbeeldingsfouten, ionenvlek en ruitvertekening. Ten slotte wordt in H. X de toepassing van de genoemde variabele vergroting in televisiecamera's besproken. (Zie ook Philips techn. T. **13**, 71-85, 1951 en **14**, 282-290, 1952 en deze overzichten, No. **R 173**).

2106: J. S. van Wieringen: Influence du traitement mécanique sur la résonance paramagnétique du manganèse dans les poudres de sulfure de zinc (Physica **19**, 397-400, 1953, No. 5).

Indien wurtziet, de hexagonale modificatie van ZnS, bij kamertemperatuur wordt gecomprimeerd, gaat het onomkeerbaar over in sphaleriet, de kubische modificatie. Dit is door röntgendiffractie-onderzoek vastgesteld. De geleidelijke overgang openbaart zich eveneens in het paramagnetische resonantiespectrum van kleine hoeveelheden Mn die in ZnS opgelost zijn. Dit komt doordat het paramagnetische resonantiespectrum van tweewaardig Mn zeer gevoelig is voor het al of niet aanwezig zijn van niet-kubische componenten van het omgevende kristalveld. In een grafiek wordt het spectrum voor verschillende Mn-concentraties weergegeven. Scheiding van het volledige spectrum treedt bij niet-gecomprimeerde wurtzietpoeders bij hogere concentraties (tot 0,05 %) op dan bij gecomprimeerde poeders (tot 0,001 %).

2107: K. F. Niessen: Condition for vanishing spontaneous magnetization below the Curie temperature (Physica **19**, 445-450, 1953, No. 5).

Voor een speciale spinelstructuur, waarbij de spontane magnetisatie bij een temperatuur T_0 beneden de Curietemperatuur T_C nul wordt, wordt een methode afgeleid om de temperatuur T_0 te bepalen. Er wordt een voorwaarde voor het limietgeval $T_0 = T_C$ afgeleid. Deze voorwaarde kan men ook toepassen op experimenten ter bepaling van de verhouding der wisselwerkingen van magnetische ionen.

2108: H. G. van Bueren: A model for demonstrating dislocations in crystals (Brit. J. appl. Phys. **4**, 144-145, 1953, No. 5).

Er wordt een eenvoudig dynamisch model beschreven waarin de krachten tussen atomen worden nagebootst, ten dele door magnetische krachten en

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ten dele door elastische krachten die door kleine veren worden veroorzaakt. Met dit model kan men gemakkelijk de beweging van lijn- en schroefdislocaties door een kristalrooster demonstreren.

2109: D. Polder en J. Smit: Resonance phenomena in ferrites (Rev. mod. Phys. **25**, 89-90, 1953, No. 1).

Met behulp van een model, bestaande in een ellipsoïde van ferriet met Bloch-wanden loodrecht op een van de hoofdassen, wordt aangetoond hoe in ferrieten grote resonantieverliezen kunnen ontstaan in een zeer brede frequentieband, te beginnen bij de door Snoek voorspelde natuurlijke resonantiefrequentie tot aan de frequentie van de Larmorprecessie in een magneetveld ter grootte van $4\pi M_s$, waarin M_s het verzadigingsmoment van het ferriet is.

2110: H. P. J. Wijn, M. Gevers en C. M. van der Burgt: Note on the high frequency dispersion in nickel zinc ferrites (Rev. mod. Phys. **25**, 91-92, 1953, No. 1).

Naar aanleiding van een mededeling van Rado c.s., betreffende twee dispersiegebieden in ferrieten, wordt het gedrag van het imaginaire deel μ'' van de aanvangspermeabiliteit ($\mu_i = \mu' - j\mu''$) onderzocht in het frequentiegebied 3 MHz-3000 MHz, bij nikkel-zinkferrieten van diverse samenstellingen (18-50 % NiO, 32-0 % ZnO). Er wordt slechts één resonantiemaximum gevonden. Uit het gedrag van μ_i als functie van de frequentie bij aanwezigheid van trekspanningen (tot 2,7 kg/mm²) wordt geconcludeerd dat de dispersie in deze ferrieten samenhangt met een rotatieproces van de spinvectoren.

2111: H. P. J. Wijn en H. van der Heide: A Richter type after-effect in ferrites containing ferrous and ferric ions (Rev. mod. Phys. **25**, 98-99, 1953, No. 1).

Bij mangaan-zinkferriet (28 MnO, 19 ZnO, 3 FeO, 50 Fe_2O_3) heeft tg δ, gemeten bij een bepaalde frequentie f, een maximum als functie van de temperatuur T. Het verband tussen $1/T_{max}$ en f is lineair, hetgeen wijst op een activeringsenergie (0,11 eV). Bij nikkel-zinkferriet wordt hetzelfde niet gevonden als het ferriet bij 1250 °C is gesinterd, maar wel als het gesinterd is bij 1525 °C, waardoor 0,5 % Fe^{2+}-ionen ontstaan. Ook hier is de activeringsenergie ca. 0,1 eV. Hieruit wordt geconcludeerd dat de restverliezen in ferrieten die zowel ferro- als ferri-ionen bevatten, berust op electronendiffusie.

2112: G. W. Rathenau: Saturation and magnetization of hexagonal iron oxide compounds (Rev. mod. Phys. **25**, 297-301, 1953, No. 1).

De verzadigingsmagnetisatie van Ferroxdure ($BaO.6Fe_2O_3$ en verwante verbindingen) bij het absolute nulpunt kan quantitatief worden verklaard met behulp van niet-gecompenseerd antiferromagnetisme (ferrimagnetisme). De vorming van Bloch-wanden in kleine deeltjes wordt besproken. Men moet aannemen dat in deze stoffen de kiemen voor de Bloch-wanden ontstaan ter plaatse van structuurfouten. In monsters met grote, willekeurig georienteerde kristallen wordt de vorming van Bloch-wanden merkbaar bij een positieve veldsterkte van de orde van $4\pi I_s$. Door de kristallen van Ferroxdure in een magnetisch veld te richten, heeft men waarden van $(BH)_{max}$ van $3 \cdot 10^6$ gauss·oersted verkregen. De kritische diameter voor het optreden van wanden verandert met de temperatuur. Een teveel aan wanden die bij een andere temperatuur dan de meettemperatuur zijn gevormd, kan in een metastabiel evenwicht blijven bestaan.

2113: E. W. Gorter en J. A. Schulkes: Reversal of spontaneous magnetization as a function of temperature in LiFeCr spinels (Phys. Rev. **90**, 487-488, 1953, No. 3).

Uit de theorie van Néel volgt dat bij ongecompenseerde ferromagnetica de spontane magnetisatie beneden het Curiepunt van teken moet kunnen wisselen, als gevolg van het verschil in temperatuurafhankelijkheid van de antiparallel gerichte magnetisaties der beide deelroosters. Dit gedrag is nu gevonden bij een reeks lithium-ijzer-chroomoxydespinellen.

R 206: J. D. Fast en J. L. Meijering: Anelastic effects in iron containing vanadium and nitrogen (Philips Res. Rep. **8**, 1-20, 1953, No. 1).

De maximale hoeveelheid stikstof die een ijzerdraad, welke 0,5% vanadium bevat, kan opnemen (bij verhitting in een atmosfeer van stikstof met 1% waterstof bij 950 °C) komt overeen met 1 atoom N per atoom V, vermeerderd met een bedrag ongeveer overeenkomende met de hoeveelheid die zuiver ijzer onder dezelfde omstandigheden kan opnemen. De eerstgenoemde hoeveelheid is chemisch gebonden aan vanadium en veroorzaakt geen inwendige wrijving. Het extrabedrag geeft niet alleen aanleiding tot een dempingspiek overeenkomende met die van zuiver stikstofhoudend ijzer (bij 21,5 °C

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij een trillingstijd van 1,3 sec), maar ook tot een nieuwe piek, die zich bij hoge temperaturen manifesteert. Deze piek, die niet beschreven kan worden met een enkele relaxatietijd, wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van deeltjes met de chemische samenstelling VN. Deze deeltjes veroorzaken niet direct demping, maar zij zijn omringd door interstitiële atoomplaatsen, waarin N-atomen veel sterker zijn gebonden dan op normale interstitiële plaatsen. Deze abnormale interstitiële plaatsen zullen vrije stikstofatomen snel binden, waarbij deze aanleiding geven tot abnormale demping. De bindingsenergie is niet in alle interstitiële plaatsen dezelfde. Naarmate het VN-precipitaat grover wordt, wordt de gemiddelde bindingsenergie naar hogere energiewaarden verschoven. Dit kan worden afgeleid uit de verplaatsing van de top van de extra piek naar hogere temperatuur (van 80 °C naar 88 °C) ten gevolge van langdurige verhitting op 950 °C. Van de tussentoestand, waarbij de N-atomen abnormale demping ten gevolge hebben, gaan deze vrij snel over in de volkomen gebonden toestand (onder vorming van ijzernitride), waarin zij geen demping veroorzaken. Hieruit volgt dat het VN-precipitaat een sterk versnellende invloed heeft op de afscheiding van opgeloste stikstof.

R 207: C. G. J. Jansen en R. Loosjes: The velocity distribution of electrons of thermionic emitters under pulsed operation, I. Apparatus and measuring technique (Philips Res. Rep. **8**, 21-34, 1953, No. 1).

Beschrijving van een buis voor het meten van de snelheidsverdeling van emissie-electronen van oxydelagen bij grote stroomdichtheden. Met de bij deze buis behorende apparatuur kunnen de electronensnelheden tot op 1% nauwkeurig worden gemeten. Punten van de i,V-karakteristiek van het totale emitterende oppervlak (8 mm²) en van de oppervlakken (0,03 mm²) waarvan het snelheidsspectrum wordt bestudeerd, kunnen bepaald worden hetzij met gelijkspanning, hetzij met rechthoekige spanningsimpulsen. Complete i,V-karakteristieken van het totale emitterende oppervlak kunnen ook worden bepaald door middel van spanningsimpulsen die in de tijd van ca. 5 μs een lineair hellend front vertonen. Typische snelheidsspectra worden verkregen bij oxydelagen van (BaSr)O, BaO en SrO en bij een L-kathode (diffusiekathode). Met behulp van buizen van soortgelijke constructie en voorzien van een L-kathode kunnen topspanningen worden bepaald met een nauwkeurigheid van $\pm$ 1 volt, onafhankelijk van de herhalingsfrequentie en de impulsbreedte.

R 208: H. C. Hamaker: The efficiency of sequential sampling for attributes, I. Theory (Philips Res. Rep. **8**, 35-46, 1953, No. 1).

Drie parameters zijn vereist om een voortschrijdend steekproevensysteem volgens Wald te bepalen. Aangetoond wordt dat men in de practijk met twee parameters kan volstaan, door uitsluitend beslissingsgrenzen te beschouwen die symmetrisch liggen ten opzichte van de oorsprong. Een asymmetrische ligging biedt geen voordelen, terwijl bij symmetrische beslissingslijnen de formules voor de keuringskarakteristiek en het gemiddelde aantal waarnemingen aanmerkelijk kunnen worden vereenvoudigd.

R 209: J. W. A. Scholte en W. Ch. van Geel: Impedances of the electrolytical rectifier (Philips Res. Rep. **88**, 47-72, 1953, No. 1).

Het systeem aluminium-aluminiumoxyde-electrolyt werkt als gelijkrichter. Het geleidingsvermogen van de lagen waaruit het oxyde is opgebouwd, verandert met het aangelegde potentiaalverschil. In dit artikel wordt uit de frequentie-afhankelijkheid van de impedantie een vervangingsschema afgeleid voor de oxydelaag, bestaande uit een serie condensatoren met parallelweerstanden. Voor de verschillende toestanden waarin de oxydelaag kan worden gebracht door gelijkspanningen van verschillende grootte en verschillend teken, worden grafieken berekend, waarin de specifieke weerstand wordt gegeven als functie van de plaats in de oxydelaag. Alle grafieken wijzen op een laag met grote weerstand en een laag waarin de weerstand sterk verloopt. Bij electrische velden in de richting van goede geleiding, waarbij geen blijvende verandering van het oxyde optreedt, is alleen de weerstand van de eerste laag afhankelijk van de aangelegde spanning. Bij sterke velden, waarbij wel een blijvende verandering optreedt, verplaatst zich het scheidingsvlak tussen beide lagen. Uitgaande van het vervangingsschema wordt de vermoedelijke structuur van de laag besproken. De conclusie luidt dat zowel aan het grensvlak metaal-oxyde als aan het grensvlak oxyde-electrolyt het oxyde afwijkingen van de stoechiometrische samenstelling vertoont en daardoor halfgeleidend is. Ondersteld wordt dat de gelijkrichting tot stand komt door het contact van een halfgeleider van p-type en een van n-type.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!